



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Biosistemas

Proyecto de Práctica Dirigida de Graduación presentado para optar
por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de
Biosistemas

Evaluación de la gestión de recursos
energéticos e hídricos en la planta empacadora
de piña (*Ananas comosus*) Upala Agrícola

Stefany Geovanna Varela Vásquez

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica

Noviembre, 2022

Tribunal Evaluador

Práctica Dirigida presentada ante la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Universidad de Costa Rica, como requisito final para optar al grado de Licenciada en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas.

Sustentante:

Stefany Geovanna Varela Vásquez - 


Aprobado por:


Dra. Marta Montero Calderón
Presidenta


M.Sc. Juan Roberto Mora Chaves
Director del Proyecto


M.Sc. Leonardo Suárez Matarrita
Miembro Lector Asesor


Ing. Kevin Castro Quesada
Miembro Lector Asesor


Dr. Juan Benavides Valverde
Miembro Lector Asesor

Dedicatoria

A mi mamá, Xinia Vásquez, y a mi papá, Geovanny Varela, porque desde pequeña me han apoyado e impulsado en todos mis proyectos académicos y de vida. La ayuda, atención y amor de parte de ellos ha sido esencial para este logro.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por la oportunidad de estudiar, por el privilegio de graduarme de la Universidad de Costa Rica, el cual es un sueño de mi niñez cumplido. Porque me dio la fortaleza y sabiduría necesaria para cumplir esta meta. Sin la gracia de él esto no hubiera sido posible.

A mi mamá, Xinia Vásquez, mi papá Geovanny Varela, y mi hermano, Christopher Varela, porque son el soporte principal de este logro, porque siempre creyeron en mí, por su apoyo emocional y espiritual constante.

A mi tía, Silvia Vásquez, por enseñarme a leer y a escribir desde muy temprana edad, por inculcarme el amor por el aprendizaje, y por el soporte que ha sido a lo largo de todos estos años.

A mi tío, Juan José Méndez, porque siempre ha estado pendiente, por todas las veces que madrugó para irme a dejar a la parada de bus de la UCR.

A mi prima, María Fernanda Méndez, por ser un ejemplo, por siempre estar orgullosa de mí y apoyarme siempre con su amor y atención.

A mis abuelas, Sonia Rodríguez y Placida Fernández, y mis abuelos, Jorge Vásquez y Gerardo Varela, por todo el amor y orgullo que siempre me han transmitido, que a pesar de que 2 de ellos no están presentes en vida actualmente, estoy segura que estarían muy felices porque siempre creyeron en mí.

A mis amigos y amigas cercanas que me escucharon y apoyaron emocionalmente a lo largo de toda mi vida universitaria, porque han estado pendientes incondicionalmente.

A la Universidad de Costa Rica y el sistema de becas que fue el soporte económico principal para poder estudiar todos estos años.

A mi profesor, director de tesis, Juan Roberto Mora, por su apoyo y paciencia siempre. A mis lectores de tesis, Leonardo Suárez y Kevin Castro, por todo el aprendizaje que me han brindado en este proyecto.

A la empresa, Upala Agrícola, por la oportunidad de desenvolverme profesionalmente, por el apoyo, atención y hospitalidad que recibí por parte de todos los funcionarios de la empresa.

Índice

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Indice de figuras	vii
Indice de tablas	viii
Resumen	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. <i>Área de estudio</i>	2
1.2. Justificación	3
1.3. <i>Delimitación del problema</i>	4
1.4. <i>Objetivos</i>	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. <i>Antecedentes</i>	6
2.2. <i>Fundamentos teóricos</i>	7
2.2.1. Descripción del producto	7
2.2.2. Descripción del proceso	7
2.2.3. Gestión energética	9
3. METODOLOGÍA	9
3.1. <i>Sitio de estudio</i>	9
3.2. Diseño experimental	9
3.3. Perfil de consumos	11
3.3.1. Consumo energético	12
3.3.2. Consumo hídrico	15
3.3.3. Consumo de insumos	16
3.3.4. Operarios	17
3.3.5. Cálculo del índice de desempeño	17
3.4. Mejoras del proceso	17
3.5. Sistema de gestión energética	17
3.6. Análisis de costos de inversión	18
3.7. Análisis de datos	18
4. RESULTADOS	19
4.1. Perfil de consumos	19
4.1.1. Consumo Energético	25
4.1.2. Consumo Hídrico	31

4.1.3.	Consumo de Insumos	35
4.1.4.	Indices de desempeño	39
4.2.	Planteamiento de mejoras encontradas	41
4.2.1.	Recibo	41
4.2.2.	Lavado	46
4.2.3.	Selección 1	49
4.2.4.	Selección 2	51
4.2.5.	Distribución	51
4.2.6.	Descarte	53
4.2.7.	Cajas	56
4.2.8.	Generales	56
4.3.	Sistema de gestión energética	57
4.4.	Análisis de costos en mejoras planteadas	66
4.4.1.	Ahorros anuales por mejora aplicada	67
4.4.2.	Análisis de inversión	71
Conclusiones		73
Recomendaciones		75
Referencias		76
Apéndice		81
4.5.	Apéndice 1	81
4.6.	Apéndice 2	82
4.7.	Apéndice 3	83
4.8.	Apéndice 4	84
4.9.	Apéndice 5	84
4.10.	Apéndice 6	85
4.11.	Apéndice 7	86
4.12.	Apéndice 8	87

Índice de figuras

1.	Esquema de la metodología por objetivos.	10
2.	Diagrama de carriles por procesos.	19
3.	Diagrama de flujo empaque de piña Upala Agrícola.	20
4.	Plano completo de planta de empaque	22
5.	Plano de planta área de cajas de empaque (área resaltada línea color marrón)	23
6.	Bandas de transporte cajas por gravedad planta (Li1, Li2, Li3, Li4)	24
7.	Banda de transporte del área de armado de cajas (Ba7)	24
8.	Gráfico de comparación entre la cantidad de piña de entrada y de salida del proceso diariamente.	25
9.	Desglose del consumo energético de todos los equipos en estudio.	26
10.	Desglose del consumo energético de las bombas.	27
11.	Equipos de consumo energético mayor secundario.	27
12.	Comparación de consumo eléctrico entre bandas del macroproceso en estudio. . . .	28
13.	Comparación de consumo eléctrico entre cargadores de montacargas.	29
14.	Consumo energético de montacargas de combustión interna.	29
15.	Comparación de consumo energético entre montacargas de combustión interna y eléctricos.	30
16.	Comparación de consumo energético de evaporadores dentro de planta.	31
17.	Comparación de consumo energético en Iluminación.	31
18.	Dimensiones de la pila de lavado de fruta	32
19.	Consumos de agua general en cada etapa que requiere este insumo (porcentajes con base al total consumido en el proceso en estudio)	33
20.	Consumo de agua (L) de las boquillas de la calibradora en tiempo completo (turno de trabajo) (TC) y tiempo de alimentación (1,5 horas) (TA).	34
21.	Consumo de agua diario en el tanque de lavado y relleno de control (L).	34
22.	Consumos de combustible diario por montacarga	35
23.	Consumos de insumos promedio diarios utilizados en el proceso de lavado y post-cosecha	36
24.	Cantidad de cajas empacadas diariamente	36
25.	Cantidad de recurso humano requerido en cada una de las etapas para cumplir con las labores requeridas.	37
26.	Cantidad de horas trabajadas por turno en 6 días de medición.	37
27.	Valores de índices de desempeño de consumo energético por tonelada de fruta de entrada y empacada.	39
28.	Valores de índices de desempeño de consumo en litros por tonelada de fruta de entrada y empacada.	40
29.	Valores de índices de desempeño de consumo en kilogramos por tonelada de fruta de entrada y empacada.	40
30.	Diagrama propuesto para la operación del montacargas de recibo	44
31.	Área de desplazamiento de montacargas de recibo de fruta	45
32.	Fuga de agua en infraestructura de la pila de lavado	47
33.	Resultados del impacto constante del agua de las boquillas en el elevador	48

34.	Laterales de la pila por donde se desborda agua	49
35.	Diseño actual de bandas transportadoras distribuidas en L	50
36.	Comparación de diseño actual en L vs el propuesto en diagonal	50
37.	Boquillas limpiadoras de calibradora	51
38.	Tiempos de carga actuales registrados en un período de 8 días	52
39.	Tiempos de carga propuesto registrados en un período de 8 días	53
40.	Bandas pequeñas de descarte	54
41.	Piñas quedan flotando por largos períodos de tiempo sin avanzar	54
42.	Opciones de bandas de transporte para mejor efectividad en la etapa de descarte	55
43.	Segunda banda de descarte de la etapa lavado de fruta	55
44.	División de proceso en bloques	57
45.	Diagrama de flujo dividido en bloques para análisis de Norma ISO 50001	58
46.	Distribución de consumos de equipos en USE	59
47.	Consumo porcentual sobre el valor total de consumo en el alcance	60
48.	Costo Eléctrico Mensual 2021	62
49.	Consumo de combustible mensual en función de variable cosecha	63
50.	Gráficos de Línea Base Energética (LBE) para cada equipo seleccionado como USE	65
51.	Guía utilizada para el registro de horas de carga de los montacargas eléctricos.	82
52.	Guía utilizada para el registro de consumo de combustible de los montacargas de combustión interna.	82
53.	Guía utilizada para el registro de consumo de agua de control en el llenado de la pila de lavado de fruta.	83
54.	Registro de la empresa para el control de consumos de insumos en el área de pos-cosecha.	83
55.	Piña de rechazo con defecto de múltiple corona.	84
56.	Banda de descarte ubicada por densidad ubicada en la pila de lavado de fruta.	84
57.	Panel de control de motores.	85
58.	Nomenclatura actual disponible desactualizada.	85
59.	Ejemplo de croquis para realizar con ubicaciones de equipos.	85
60.	Variación mensual de cantidad de lluvia Upala (Cedar Lake Ventures, 2022)	86
61.	Desglose de rubros de factura cobrada por el ICE	86
62.	Desglose de costos de consumo y potencia en factura del ICE	87

Índice de tablas

1.	Tiempos utilizados y cantidad de mediciones realizadas para el cálculo de consumos	12
2.	Equipos tomados en cuenta para las mediciones de consumo eléctrico	13
3.	Distribución de días para mediciones de consumo de equipos de la línea de empaque	13
4.	Valores de poder calórico RECOPE	15
5.	Procedimiento para evaluación de la norma ISO 50001	18
6.	Consumos de agua general	33
7.	Cantidad de personal y tareas realizadas por operación	38
8.	Resumen de índices de desempeño por insumo	41

9.	Resumen de mejoras encontradas por etapa	41
10.	Diagrama de identificación de acciones de montacargas área de recibo	42
11.	(Continuación) Diagrama de identificación de acciones de montacargas área de recibo	43
12.	Horario de carga eléctrica propuesto	52
13.	Consumo energético por bloques	59
14.	Equipos y personal requerido en el bloque de Preparación Inicial	59
15.	Evaluación de equipos según criterios de significación	61
16.	Indices de Desempeño Energético promedio	63
17.	Costo supuesto de consumo hídrico y ahorros estimados	66
18.	Montos ahorrados anualmente al aplicar las mejoras en consumo de agua de la pila	67
19.	Montos ahorrados anualmente al aplicar la mejora en las boquillas de calibradora	68
20.	Datos de bandas reemplazadas en el proceso	69
21.	Ahorro económico al cambiar bandas de transporte	69
22.	Comparación de montos de consumo de combustible versus energía eléctrica en montacargas	69
23.	Propuesta de mejora en gestión de Montacargas	70
24.	Ahorro económico anual al cambiar por motores de alta eficiencia	70
25.	Ahorro total de mejoras aplicadas	71
26.	Desglose de materiales y equipos requeridos en las mejoras	71
27.	Resultados de cálculo de flujo de caja energía eléctrica	72
28.	Resultados de mejoras en motores de alta eficiencia	72
29.	Flujo de cajas compra de montacarga	73
30.	Flujo de caja alquiler de montacarga eléctrico	73
31.	Resumen de la evaluación preliminar de mediciones que se realizó en cada proceso.	81
32.	Detalles de los criterios significativos	86
33.	Rangos de hora respectivos a los períodos de consumo eléctrico	87
34.	Cantidad de agua que arrastra una piña al ser sumergida	88

RESUMEN

Para el año 2019 Costa Rica fue el país con mayor producción a nivel mundial de piña (*Ananas comosus*), con 11,8 % del total global. Debido a la alta demanda de recursos energéticos e hídricos de las empresas agroindustriales y su impacto económico y ambiental se desarrolló una evaluación de la gestión de la empresa Upala Agrícola, localizada en la Zona Norte de Costa Rica, en donde se lleva a cabo el proceso de empaque de piña fresca para exportación. De este modo, se basó en el análisis *in situ* del proceso por medio de visitas con el fin de identificar el consumo de recursos y crear el perfil energético e hídrico. También, se elaboró una propuesta de mejoras para reducción de costos y aprovechamiento de recursos. Además, se realizó la propuesta del sistema de gestión energética con base a la norma ISO 50001, y finalmente, se estimaron los costos de inversión para la aplicación de mejoras e ingresos debido al posible ahorro de consumos encontrados.

En el levantamiento de datos de consumo de recursos se inició con la identificación de la empresa, donde se realizó el diseño de diagrama de procesos, plano de planta, ubicación de equipos y gestión de cada operación estudiada. Luego, se obtuvo el consumo energético (electricidad y combustible) de los equipos involucrados desde la etapa de recibo de fruta desde campo hasta el empaque y paletizado de las piñas. Paralelamente, se midió la capacidad volumétrica de la pila de lavado, así como la cantidad de agua en litros que se consumen diariamente en control de pérdidas en la pila. Además, se calculó el consumo hídrico en las etapas de encerado, aplicación de fungicida y en las boquillas de limpieza de los platos de la calibradora. Finalmente, se midió el consumo de fungicida, cera, cloro y cajas, así como la cantidad de personal en cada operación. Con cada insumo se realizó cálculos de índices de desempeño en función de las toneladas de entrada y salida de fruta de la planta, donde los resultados para el consumo energético e hídrico, respectivamente fueron $0,1177 \text{ kWh}/t_{\text{salida}}$, $0,0957 \text{ kWh}/t_{\text{entrada}}$, $48,95 \text{ L}/t_{\text{salida}}$ y $41,75 \text{ L}/t_{\text{entrada}}$.

Como planteamiento de mejora se identificó problemas de sobredimensionamiento, distribución de espacio, tiempos de uso y sistemas de gestión en las etapas de recibo, lavado, selección 1 y 2, distribución, rechazo y cajas, en donde implica la reducción de consumos de agua, combustible y electricidad. Por otra parte, el análisis del sistema de gestión energética se realizó dividiendo el proceso de empaque en cinco bloques para la identificación del Uso Significativo de la Energía (USE), el cuál fue la etapa de recibo y lavado, específicamente los montacargas de combustión interna y las bombas de los pozos, en donde se realizó un plan de acción y medición, así como la identificación de los Índices de Desempeño Energético (IDEn) para el trazado de la Línea Base Energética (LBEn), como base para mediciones futuras y su respectivo control de mejora continua.

Por último, en el análisis de costos de inversión se tomó en cuenta las mejoras que requerían compra de materiales y equipos. Además, se calculó el ahorro de consumo energético en colones que se espera con cada mejora, para esto se obtuvo un total de \$15 232,78 menos anualmente aplicando todas las mejoras. De esta manera se calculó el TIR y el VAN para 4 casos distintos, en el que la variación correspondió a consumo eléctrico por equipos y la adquisición del montacarga eléctrico, ya sea alquilado o comprado. Donde los valores obtenidos determinó que las mejoras de energía eléctrica es el único rentable en las condiciones planteadas, con valor VAN y TIR de \$2 726,98 y 199 %, respectivamente, a una tasa de descuento de 15 % por un período de 10 años.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Área de estudio

La presente investigación forma parte de uno de los objetivos del proyecto vigente B9235 titulado: Análisis de la eficiencia en plantas empacadoras de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. El cual se desarrolló por parte de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas y el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica (UCR).

La investigación se desarrolló en el área poscosecha, cuyo término general se refiere a todos los procesos que se dan a los productos frescos después de su respectiva cosecha en el campo. Para esto se seleccionó la empresa nacional Upala Agrícola de la Zona Norte del país, donde se realiza el manejo poscosecha de empaque de piña para exportación.

En esta planta de empaque se realizan todas las operaciones desde el recibo de producto que viene de campo hasta despacho, lo que implica lavado y desinfección, selección, encerado, aplicación de fungicida, secado, empackado, enfriamiento forzado, almacenamiento y despacho para el transporte a sus diferentes mercados destino. Sin embargo, para esta investigación se seleccionó solamente una parte del proceso, la cual fue desde recibo de fruta hasta el transporte de cajas de fruta empacada dentro de planta. Omitiendo de este modo las etapas de enfriamiento forzado y almacenamiento por la complejidad en la medición de consumos al ser unidades condensadoras paralelas que brindan servicio a distintas zonas de la empresa y al dinamismo del ingreso y salida de producto.

La empresa cuenta con 2000 ha de propiedad, donde 1500 ha de este territorio está destinado al cultivo de piña, mientras que en el área restante se encuentran las oficinas, talleres, bodegas de insumos, maquinaria, viveros, instalaciones destinadas al proceso de empaque y terreno de preparación para extensión de siembra de piña. Actualmente existen 2 plantas de empaque, sin embargo, solamente una de estas está en funcionamiento, la cual está ubicada en Quebrada Grande. La otra planta de empaque se encuentra en San Luis, pero solamente se utiliza en caso de que la planta principal requiera mantenimiento importante en donde sea necesario detener el funcionamiento de la planta por varios días. De este modo, estas segundas instalaciones se consideran un respaldo de emergencia para no atrasar el empaque de fruta, sin embargo, no es una situación que se presente frecuentemente.

La piña producida en esta empresa puede presentar variedad de calibre, en rangos de 5 a 10, esto según el mercado a donde sea exportado. El calibre hace referencia a la cantidad de piñas que se pueden colocar dentro de una caja de tamaño estándar, de esta forma entre mayor calibre, la fruta es más pequeña porque se pueden empackar más piñas. Además, esta fruta también se puede tener en presentaciones con o sin corona (hojas de la piña). La variedad que se comercializa en Upala Agrícola es la MD2 Gold.

Esta agroindustria cuenta con certificaciones de ISO 14001, GLOBAL G.A.P., Harvest Crew, Rainforest Alliance, BCR Global Standard for Food Safety, Bandera Azul, SMETA, BASC, Esencial Costa Rica y FDA. Además, cuenta con un programa de viveros para la siembra de árboles, así como una política sostenible. Lo que incluye compromiso con el cumplimiento de la legislación actual, compromisos de protección ambiental, mejoramiento continuo y comunicación.

1.2. Justificación

Internacionalmente la piña es altamente comercializada, los principales países consumidores son Estados Unidos y la Unión Europea. Además, ésta existe en diferentes presentaciones, entre las principales son: enlatada, en jugo o fresca (CNUCED, 2015). La producción de piña ha tenido un crecimiento importante desde el año 2000 y para el 2019 se reportaron 24,18 millones de toneladas producidas mundialmente. En esta misma línea, Costa Rica es el mayor productor a nivel mundial con 11,8 % del total global en ese mismo año, en segundo lugar Filipinas con un 9,75 %, seguido por Brasil con 8,61 % e Indonesia con 0,82 % menos que el anterior (Monday Olah y Tete Okon, 2022).

Costa Rica cuenta con 122 exportadores de piña fresca (CANAPEP, s.f.), el cual es uno de los principales productos de exportación, las estadísticas reportan aproximadamente 1 858 899 t comercializada internacionalmente para el año 2015. Las zonas de principal producción son Huetar Norte, Pacífico y Huetar Atlántico (Chaves, 2017). Para el año 2010 se estimaba una producción de más de un millón de toneladas métricas, con una productividad de 90 t/ha. Donde el 90 % de la piña es exportada y el otro 10 % se consume localmente en supermercados, en el Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos (CENADA), ferias del agricultor y demás mercados internos (Barrientos y Porras, 2010).

Debido a la alta producción de piña y su importancia en el país se crea en el 2003 la Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP). Esto con el objetivo de incentivar a productores, industrializadores y exportadores de esta fruta a cumplir las normas ambientales, laborales y sociales del país y del mercado internacional (CANAPEP, s.f.). En este sentido, la empresa que se seleccionó para este proyecto es una de las 38 empresas que forman parte de esta organización privada, la cual exporta a países como Norteamérica, Europa y Medio Oriente (La República, s.f.).

En la producción de piña fresca intervienen gran cantidad de factores económicos como: proveedores, servicios técnicos, productores, empacadores, transportistas, comercializadores, servicios de electricidad, agua potable, comunicaciones y más (Barrientos y Porras, 2010). Para efectos del presente trabajo se enfocó en el análisis de dos insumos principales en el proceso poscosecha: índices de consumo energético e hídrico, los cuales a parte de representar un impacto económico importante en la empresa, también son factores relevantes para el impacto ambiental.

El consumo energético de las empresas procesadoras de alimentos, como cualquier industria es elevado. Para el año 2015 se reporta un consumo del 24,1 % de la energía total en este sector de la industria alimentaria; este parámetro se denota como un punto de mejora continua, ya que el

98 % de la producción de energía eléctrica mundial se produce a partir de combustibles fósiles; significando un impacto ambiental importante (Quesada, 2018).

De este modo, se buscan estrategias para la reducción de consumo aplicando cambios internos referente a tipo de equipos, infraestructura y diseño de las instalaciones del proceso. Para esto se crea la norma ISO 50001, la cual busca mejorar el desempeño energético, aumentar la eficiencia energética y reducir los impactos ambientales (de Laire, 2013). Por otra parte, se tiene también el consumo de combustible de fuentes derivadas del petróleo, principalmente en los montacargas encargados de desplazar las tarimas, cajas y demás materiales en una empresa agroindustrial. De este modo, el impacto económico y ambiental debido a este consumo energético se considera relevante para este sector, principalmente debido a la fuente de donde se obtiene el combustible y las emisiones de CO₂ que este presenta (Nogués et al., 2010).

Respecto al consumo del recurso hídrico se tiene que las extracciones de agua dulce en todo el mundo han presentado un triple aumento en los últimos 50 años (Solano et al., 2019), lo cual excede los suministros para el abastecimiento humano. El consumo de alimentos tiene un efecto importante en estos resultados, ya que el 70 % es debido a la demanda de la producción agrícola y ganadera (Solano et al., 2019). De esta manera, el manejo poscosecha de productos frescos, como la piña, presenta elevado consumo de este recurso, de aproximadamente 3,18 L por cada 11,5 kg de piña empacada, tomando en cuenta sólo la etapa de empaque en planta (Ingwersen, 2012), principalmente en la operación de lavado y desinfección, aplicación de fungicida y cera.

Para efectos de esta investigación se realizó un análisis previo en las instalaciones en estudio y se eligió los procesos poscosecha previos al enfriamiento forzado. Donde a pesar de que estas operaciones seleccionadas representan un consumo energético menor en comparación a la etapa de enfriamiento, se determinó que dentro de estos procesos analizados es donde se consume mayor recurso hídrico.

En última instancia, siguiendo la línea de aprovechamiento de los recursos energéticos e hídricos en la planta empacadora. Se partió de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los cuales describen desafíos para el año 2030. De este modo, los alcances de la presente investigación van de la mano con tres de estos objetivos. Los cuales son, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción, así como duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. Los cuales llevan al objetivo sobre acción por el clima, que menciona adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

1.3. Delimitación del problema

Debido a la alta demanda de recursos energéticos e hídricos de las empresas agroindustriales y su impacto económico y ambiental se realizó una evaluación de la gestión actual de estos recursos en la empresa con el fin de crear una gestión modificada más sustentable. Además, cabe mencionar que el trabajo que se desarrolló es una propuesta de mejoras, sin embargo, la decisión de la implementación en la empresa no se considera dentro del tiempo de la investigación.

Las operaciones unitarias en las que se basó el análisis de equipos e infraestructura es a partir de la descarga de los cargadores de metal que vienen desde la cosecha de campo hasta el desplazamiento de tarimas con fruta empacada en planta. En donde implican las operaciones de recibo, lavado y desinfección, aplicación de fungicida y encerado, secado, selección, descarte, empaque (etiquetado, armado de tarimas) y transporte de tarimas. Además, se incluyó el proceso de armado de cajas y transporte de las mismas en bandas hasta su uso. Para la aplicación de mejoras se tomó en cuenta la infraestructura, equipos, distribución de espacio, metodología del proceso, gestión de operaciones, tiempos de trabajo y recurso humano. Para el caso del plan de gestión energética se basó únicamente en los requerimientos según la norma ISO 50001.

Para la evaluación del recurso energético los equipos que se consideraron corresponden a bandas transportadoras y sus correspondientes motores, etiquetadoras, equipo de selección por calibre, máquina formadora de cajas, evaporadores, ventiladores, montacargas, elevador de lavado e iluminación. No se tomó en cuenta el consumo de recursos en baños, soda, oficinas, talleres de mantenimiento, bodegas ni todo lo que implica la producción en campo debido a que no forma parte del alcance temporal del proyecto. En este caso, se midieron los tiempos de operación y consumo según las toneladas diarias procesadas, para un total de tres días a la semana por cuatro semanas, es decir, un total de 12 días de medición. Respecto a la evaluación del recurso hídrico se consideraron las operaciones unitarias de lavado y desinfección, encerado y aplicación de fungicida, así como el agua de limpieza de la calibradora

Finalmente, una vez planteadas las mejoras, se realizó una evaluación integral de estudios de costos del proyecto. De esta manera, para el análisis económico se evaluó el gasto mensual en recibos eléctricos mensuales y abastecimiento de combustible para los montacargas. Para el caso del consumo de agua no se consideró ya que se obtiene bombeado de un pozo de la propiedad. Todo lo anterior, comparando la gestión actual y la propuesta.

1.4. *Objetivos*

1.4.1. *Objetivo general*

Evaluar una propuesta para mejorar el uso de recursos energéticos e hídricos en el proceso de empaque de piña (*Ananas comosus*) desde el área de recibo de campo hasta el empaque de la fruta en la planta empacadora de Upala Agrícola.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Identificar los procesos, insumos y recursos de la línea de empaque de piña para la creación del perfil energético e hídrico por medio de la toma de datos *in situ*.
- Elaborar una propuesta de mejoras para el uso de recursos en el procesamiento de la piña para reducir costos de operación.
- Proponer el sistema de gestión energética en la planta empacadora de piña para la mejora del uso energético con base a la norma ISO 50001.

- Estimar los costos de inversión para la evaluación de implementación de mejoras a partir de la propuesta de cambios planteados.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La producción de alimentos a nivel mundial es un tema de importancia económica y ambiental, por el uso de suelos, utilización de diferentes químicos, uso de recursos naturales y por la generación de gases de efecto invernadero generada por las plantas procesadoras, las aguas residuales de estas y más (Ingwersen, 2012). La piña, en particular, es una de las frutas que más se producen y exportan en el país y debido a su importancia económica se han realizado gran cantidad de investigaciones (Li Bonilla, 2011).

En este sentido, Li Bonilla (2011) realizó un modelo de valoración de la gestión productiva de la piña, para su certificación. Este se basó en la recolección de datos para determinar la eficiencia, eficacia y control de la producción de esta fruta desde el campo hasta su venta, incluyendo el proceso de empaque en planta. Para esto creó una herramienta que por medio de indicadores permiten el acceso al rendimiento y manejo de la empresa interesada. Con el fin de facilitar el proceso de certificaciones, así como identificar puntos de competitividad o de mejoras.

Al mismo tiempo, se han investigado sobre aplicaciones de metodologías tanto en infraestructura como en uso de energías renovables. Como Fontana (2011) en donde realizó un acoplamiento de un concentrador solar escalonado, como fuente de energía para la industrialización de piña. Así como Quesada (2018) estudió la factibilidad ambiental, técnico y financiero para la colocación de sistemas fotovoltaicos en las plantas empacadoras, pertenecientes a las subsidiarias de Dole en Costa Rica, en donde determina que sólo dos de las siete empresas analizadas tienen factibilidad en todos los rubros para la implementación de esta nueva tecnología, en donde ambas son de piña. Por otro lado, Solís (2011) realizó un diseño de un programa para el mantenimiento preventivo de la infraestructura en plantas procesadoras de piña (PINDECO S.A.), basado en las normas ambientales ISO 14001 y EUREP GAP. En donde se realizaron recomendaciones en el mantenimiento de equipo, limpieza, iluminación, desechos peligrosos, buenas prácticas de manufactura, manejo de desechos no vegetales y ampliación y construcción de infraestructura.

En otro sentido, en el caso de Llanes (2009) realizó un análisis del comportamiento de los índices de consumo energético en la industria arrocera en la provincia cubana de Granma. Se obtiene como mejor resultado de $18,24 \text{ kWh}/t_{\text{arroz}}$ para el arroz importado al 5 % de impurezas. También Cruz y Gandón (2011) realizaron un estudio de la determinación de los índices de consumo energético en una planta de productos lácteos. Determinaron un índice de $132,5 \text{ kWh}/t$ de producción total incluyendo crema, leche y yogurt. Finalmente, Diez y Cruz (2011) estudiaron la optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán, R. Argentina. Donde se aprovecha este alcohol sustituyendo el combustible fósil generando un impacto positivo en el consumo energético. Estos datos son relevantes como base para comparar entre industrias de alimentos y evaluar metodologías para la mejora continua y aprovechamiento

del recurso energético, para el caso de piña no se encontraron datos de referencia.

En cuanto al uso del recurso hídrico, se encuentra el estudio de Duek y Fasciolo (2014) que investigaron sobre el uso industrial del agua en Mendoza, Argentina: coeficientes para la industria alimenticia. De esta manera, obtuvieron que para el caso de elaboración de conservas de frutas se da un consumo de 18 L/kg de materia prima procesada según el dato experimental. Mientras que el dato teórico concluye un consumo en el rango de 20,6 a 57,3 L/kg de materia prima procesada. En otro caso similar Solano et al. (2019) calcularon el consumo de agua en el proceso de poscosecha en la producción de banano de exportación. Donde obtuvieron como resultado entre 8 y 15 L/kg de fruta procesada.

2.2. *Fundamentos teóricos*

2.2.1. *Descripción del producto*

La piña (*Ananas comosus*) es un producto que tradicionalmente se ha producido desde tiempos de la colonia, pero se empezó a expandir a varias regiones del país, de forma más intensificada, a finales de la década de los años 70 (Barrientos y Porras, 2010). Es una planta monocotiledónea, herbácea, no climatérica, semi perenne y anisotrópica no homogénea en sus propiedades físicas, en todas las direcciones (Chaves, 2017). Su origen es de América del Sur, comercialmente tiene dos cosechas por ciclo productivo, una a los 12 meses y la segunda a los 26 meses aproximadamente. Este tiene forma cilíndrica con un peso entre 0,5 kg a 2 kg aproximadamente. Está compuesta principalmente de agua, mientras que los niveles de grasa y proteína son mínimos (Carvajal, 2013). Además, el mercado externo solicita este con un 80% de madurez, así como libre de deformaciones, hojas en buen estado, libres de daños patológicos y libres de quemaduras (Ulloa, 2017).

Cuando se menciona que un fruto es climatérico es porque estos presentan una producción elevada de etileno y tasa de respiración después de la cosecha. Mientras que los no climatéricos no presentan este comportamiento, como lo es en el caso de la piña, de esta manera se debe cosechar en su punto óptimo. Durante el proceso de poscosecha se busca controlar la tasa de respiración, con el fin de evitar su descomposición temprana por medio de bajas temperaturas, ya que estas disminuyen la velocidad de reacción al mismo tiempo que aumenta la energía de activación (Ulloa, 2017).

2.2.2. *Descripción del proceso*

El proceso de empaque de piña se conforma de una serie de operaciones, las cuales deben conservar la calidad e inocuidad del producto, para esto se busca disminuir la temperatura en cada etapa. Iniciando con la descarga del producto proveniente del campo, lavado y desinfección, clasificación, aplicación de cera y fungicida, secado, clasificación por peso, empaque, paletizado, enfriamiento y almacenamiento (Carvajal, 2013).

El lavado se debe realizar como primer paso porque el fruto trae residuos del suelo o materia orgánica, se realiza principalmente por medio de agua con cloro en una solución de 120-130 ppm y un pH de 6-7,5. Esto con la idea de eliminar microorganismos en la superficie y desinfectar lo suficiente para pasar al proceso de selección por medio de bandas transportadoras (Ulloa, 2017). En esta etapa es donde se consume mayor cantidad de agua; además, cuenta con motores para el transporte del producto y bombas para la circulación del agua.

En el área de selección se realiza una revisión de calidad de las piñas, incluyendo el estado de la corona; además, se colocan para que estas estén en posición correcta para la aplicación de cera. Seguidamente, en el encerado se aplica uniformemente al fruto y al pedúnculo, incluyendo en la mezcla fungicida, ya que como se mencionó anteriormente, es necesario para proteger la fruta de daños por frío, plagas y descomposición temprana (Ulloa, 2017). En este caso se requiere uso de motores para el funcionamiento de las bandas, así como en la aplicación y recirculación de fungicida y cera diluido en agua.

La clasificación final por peso, tamaño o color, depende del mercado de destino, y este proceso se puede realizar manual o por medio de una calibradora, de esta manera se procede a empacar según el calibre, el cual define qué cantidad de piñas se empacan por caja. Una vez listas en las cajas se transportan en bandas para ser etiquetadas en la corona, para luego colocarlas en las tarimas, colocar esquineras y cintas que refuercen la estabilidad (Ulloa, 2017). El empacado de frutas consiste básicamente en seleccionar las frutas de tamaño similar y colocar de manera ordenada en una caja, ya sea de cartón o de plástico, para lograr el acomodo y transporte de estas fuera de la planta (Enríquez, 2015).

Finalmente, se procede al enfriamiento, proceso no incluido en el estudio de esta investigación, en donde el fin es disminuir la temperatura de la piña uniformemente hasta 7-10 °C, temperatura recomendada para esta fruta. Con el fin de conservar todas sus propiedades organolépticas, de calidad e inocuidad; así como una humedad relativa de 85-95 % (Ulloa, 2017). El método de enfriamiento más eficiente y más comúnmente utilizado es el de aire forzado, el cual consiste en un tipo de preenfriamiento muy eficiente porque requiere tiempos cortos para remover el calor de campo de la fruta, esto al exponer a altas presiones y caudales de aire. En este proceso, el calor es removido por conducción hacia la superficie del material, y por convección desde la superficie; esta resistencia interna se logra por medio del valor del número de Biot; si este es menor a 0,1 significa que no existe diferencia en el tiempo de cambio de temperatura entre el centro del producto y su superficie (Chaves, 2017).

La transferencia de calor se da por la diferencia de temperaturas entre la fruta y el medio de transferencia que puede ser aire o agua, esto en cada una de las operaciones mencionadas anteriormente, ya que esta viene con temperaturas muy altas de campo, en algunas épocas del año hasta de 40 °C (Chaves, 2017). Dependiendo de este factor se verá afectada la demanda energética para poder reducir esa temperatura, es decir se requerirá más energía para lograr despachar la piña de la planta empacadora en la temperatura recomendada para su calidad.

2.2.3. *Gestión energética*

La Norma ISO 50001 fue publicada en junio del año 2011, la cual se basa en la implementación del plan de gestión energética con el objetivo de mejorar el desempeño energético, aumentar la eficiencia energética. Así como reducir los impactos ambientales e incrementar las ventajas competitivas de la organización que la implemente sin afectar la productividad de esta (de Laire, 2013).

El sistema de gestión energética propuesta por la norma ISO 50001 se enfoca en las siglas PHVA, las cuales significan Planificar-Hacer-Verificar-Actuar. De este modo, el objetivo es que sea un ciclo de mejora continua basada específicamente en el desempeño energético (Valverde, 2014).

Los índices de desempeño energético (IDE) se utilizan para evaluar el uso de la energía respecto a la producción del producto o proceso en sí. Estos pueden ser un parámetro, un modelo complejo o un cociente. Las empresas pueden seleccionar este parámetro, así como lo pueden modificar y actualizar según las condiciones de operación. Algunos ejemplos de estos pueden ser consumo energético por unidad de tiempo o por unidad de producción (Valverde, 2014).

3. METODOLOGÍA

3.1. *Sitio de estudio*

La investigación se desarrolló en la empresa Upala Agrícola, en el área de poscosecha de la planta de empaque de piña fresca para exportación de variedad MD2 GOLD. Donde se buscó la reducción de los consumos de recursos energéticos e hídricos en todas las etapas del proceso de empaque con el fin de generar un impacto positivo a nivel económico.

3.2. *Diseño experimental*

Para el desarrollo del proyecto se tenían un conjunto de cuatro objetivos específicos, los cuales se detallaron cada uno en el diagrama de la Figura 1, en donde se realiza la división por cada uno y se indica la secuencia de la toma de datos y análisis requeridos para el cumplimiento de estos. Además, se indica la relación y conexión que existe entre objetivos para finalmente cumplir un resultado en común, el cual fue mejorar la gestión de los recursos de agua y energía en la planta empacadora.

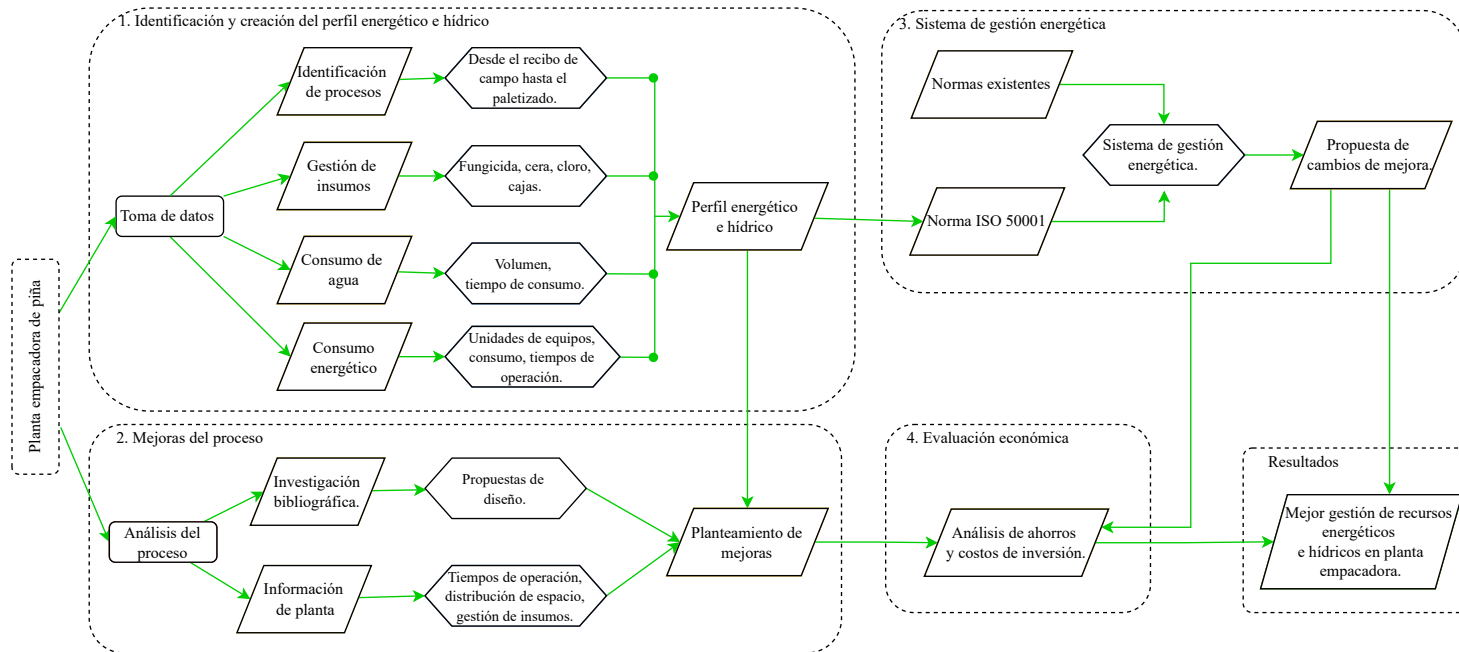


Figura 1. Esquema de la metodología por objetivos.

Como se indicó en la Figura 1 todos los datos tomados fueron con base a la empresa en estudio, de esta manera, se requirieron estudios, análisis y mejoras en la gestión de los recursos energéticos e hídrico utilizados para un mejor desarrollo de las operaciones. En el primer objetivo planteado, se creó el perfil energético e hídrico a partir de la toma de datos en planta directamente y por medio de registros existentes de la empresa sobre el manejo de la energía y agua consumida para verificar y actualizar la información según fuera el caso. Además, en algunos casos se requirió obtener información de los equipos por medio de la consulta en manuales de distribuidores de estos. También, se obtuvo los datos de consumo del recurso hídrico en las etapas que correspondía (lavado, aplicación de fungicida y cera, calibradora) y finalmente, se midió los tiempos de operación en cada etapa del proceso (ver Apéndice 1: Tabla 31).

Con respecto al segundo objetivo (Figura 1) se hizo un análisis del proceso *in situ* en donde se identificaron mejoras en conjunto con la gerencia de la empresa que faciliten el flujo de operaciones, así como gestión de insumos con el fin de reducir el consumo de recursos. Todo esto para la posible implementación de la empresa para reducción de costos de operación y aumento de productividad de cada etapa según los intereses.

Seguidamente, se realizó una propuesta del sistema de gestión energético con base a los hallazgos y fundamentado en la metodología de la norma ISO 50001. En donde se requirió de los datos del perfil energético que se obtuvo en la primera etapa. De esta manera, se creó el escenario en donde se aplica esta certificación para evaluar su efectividad económica en conjunto con las normas ya implementadas actualmente (Figura 1).

Por otra parte, para el último objetivo (Figura 1), se realizó un análisis económico general de la mejora planteada. Este análisis se realizó de forma integral tomando en cuenta la aplicación de todas las mejoras encontradas.

Entonces a lo largo de los planteamientos realizados anteriormente, se determinó que la posible aplicación de las mejoras representan ahorro del consumo de recursos y por ende beneficios económicos. Además, los datos presentados funcionan como base para la implementación de la norma de gestión energética e instalación de nuevas fuentes de recursos renovables.

3.3. Perfil de consumos

Se inició con la visita a la planta de empaque, en donde se identificó el proceso de empaque de piña fresca, primero en forma general y luego de forma más específica en los procesos. En esta primera etapa se observó infraestructura, distribución de espacio, cantidad de equipos y sus funciones, horarios y metodología de trabajo en cada proceso y personal encargado. También, se identificó las variables que podían afectar la producción, como tiempo de cosecha, cantidad de bines, clientes, fallos mecánicos y deficiencias que afectaban el desarrollo de los objetivos del proyecto, específicamente en la toma de datos. Todo esto se obtuvo por medio de las observaciones *in situ* y consultas a los encargados de los diferentes departamentos, en este caso Jefe de Planta, Jefe y Técnicos de Mantenimiento, Jefe de Empaque, Jefe de Maquinaria, así como los operarios en cada operación unitaria.

De esta manera, a partir de este primer acercamiento a las instalaciones de la empresa, se elaboró un diagrama de flujo del proceso de empaque, considerando en este caso las operaciones desde la entrada de la piña a la planta en los bines que vienen de campo, hasta la salida de la fruta en los contenedores para su respectivo transporte. Sin embargo, se tiene que las operaciones de estudio para este proyecto conforman solamente hasta la etapa de conformación de paletas, dejando por fuera los procesos de enfriamiento forzado, almacenamiento y despacho. Además, se diseñó un plano preliminar tipo croquis de todas las instalaciones, con el fin de lograr una mayor comprensión del dimensionamiento, distribución de equipos y distintas áreas dentro de la empresa. El diagrama se realizó por medio de la aplicación *Draw* y para el diseño del plano se requirió el uso de *AutoCAD 2019*.

Para la toma de datos de consumos se dividió en cuatro metodologías diferentes, según el recurso que se midió, los cuales son: energía, agua, insumos y operarios. Además, se cuantificó la cantidad de insumos directos aplicados a la producción. En la Tabla 1 se indica la división de factores para cada recurso estudiado, así como el tiempo de análisis utilizado para los cálculos de consumo, sin embargo, en general los datos finales obtenidos son consumos diarios.

Tabla 1. Tiempos utilizados y cantidad de mediciones realizadas para el cálculo de consumos

	Factor	Tiempo cálculos de consumo	N° de mediciones
Insumos	Combustible	Horímetro	4 días/semana/2 semanas
	Cloro	Diario	Indicado en Tabla 3
	Cera	Diario	Indicado en Tabla 3
	Fungicida	Diario	Indicado en Tabla 3
Agua	Pila	2 días*	3 mediciones/dimensión
	Relleno	Diario	19 días hábiles** continuos
	Insumos	Diario	Indicado en Tabla 3
	Limpieza calibradora	2 turnos(- hora comida) 2 turnos(+ hora comida) Horas de comida***	Indicado en Tabla 3
Energía	MC combustible	Horímetro	4 días/semana/2 semanas
	MC eléctricos	Horas de carga	8 días hábiles** continuos
	Equipos empaque	2 turnos (- hora comida)	Indicado en Tabla 3
	Iluminación	2 turnos (+ 4 h limpieza****)	Indicado en Tabla 3
Factor humano	Operarios	Diario	Indicado en Tabla 3

*Cada 2 días se llena la pila, ID se calcula con toneladas de 2 días **Lunes a Sábado ***1.5 h ****3 horas en la mañana y 1 h en la noche

3.3.1. Consumo energético

Primeramente, para obtener los valores de consumo eléctrico de los equipos involucrados en el proceso de la línea de empaque, se contó con la colaboración de técnicos especializados. Los cuales se encargaron de indicar la ubicación de los equipos y sus respectivos interruptores en el panel de motores; además, estos se encargaron de utilizar el multímetro para las mediciones de Tensión (V) y Corriente (A). De esta forma, los equipos a los que se les realizaron mediciones

de consumo eléctrico comprenden casi todas las etapas del proceso consideradas en el proyecto, a continuación, se muestra en la Tabla 2 la división de equipos por etapas, además, se indica cuáles equipos poseen variador de frecuencia para su funcionamiento.

Tabla 2. Equipos tomados en cuenta para las mediciones de consumo eléctrico

#	Proceso	Equipos	Variador de frecuencia
1	Recibo	-Elevador	
2	Lavado y desinfección	-3 Bandas redireccionales -2 Bombas de recirculación -Bomba del pozo -Iluminación	x
3	Selección manual	-Banda transportadora -Iluminación	x
4	Fumigación	-Bomba	
5	Encerado	-Agitador -Bomba	
6	Secado	-2 Ventiladores	
7	Selección calibre y empaque	-12 Bandas de empaque -Iluminación	
8	Etiquetado	-2 Bandas transportadoras -Etiquetadoras	
9	Transporte	-2 Montacargas*	
10	Formación de cajas	-4 formadoras de cajas -Banda transportadora	x
11	Descarte	-Trituradora de coronas -11 Bandas transportadoras	x
12	Enfriamiento sala de proceso	-9 Evaporadores	

*Se aplica metodología de medición distinta a los demás equipos por naturaleza de funcionamiento en la empresa

Para cada uno de estos equipos se tomaron las medidas de Corriente (A) y Tensión (V) directamente del interruptor correspondiente. Se decidió realizar tres repeticiones para los equipos constantes, mientras que para los equipos que poseen variador se aplicaron 12 repeticiones, lo cual se distribuyó en 3 días por semana, durante 4 semanas. Los días fueron seleccionados aleatoriamente, procurando que se abarcaran los cinco días de la semana, estos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución de días para mediciones de consumo de equipos de la línea de empaque

Mes	N° Semana	Fecha	Año
Noviembre	1	15, 16, 18	2021
	2	24, 25, 26	
	3	30	
Diciembre	3	1, 3	
	4	13, 14, 15	

Para el análisis de datos eléctricos se aplicó estadística descriptiva, específicamente media y desviación estándar, para determinar los datos aproximados de Tensión (V) y Corriente (A) entre los 12 días de medición, seguidamente, se utiliza el producto de los datos promedio de estos para obtener la potencia eléctrica (kW) de cada equipo.

$$P = I_p \cdot V_p \quad (1)$$

Donde:

P: Potencia eléctrica (W).

I_p : Corriente promedio (A).

V_p : Tensión promedio (V).

Por otro lado, se consultó el tiempo de trabajo de cada día, incluyendo ambos turnos, en donde se restaron 1,5 horas correspondientes a los recesos de comidas totales, ya que en ese lapso se apagan todos los equipos simultáneamente. De este modo, con los datos de potencia eléctrica (kW) y tiempos (h), se procede a calcular el consumo diario en kWh por medio del producto de estos. Finalmente, se toman los datos de consumo de los 12 días de mediciones y se calcula el promedio para cada equipo estudiado.

$$Q_n = P \cdot t_n \quad (2)$$

Donde:

P: Potencia eléctrica (kW).

Q_n : Consumos diarios (kWh).

t_n : Tiempos de trabajo (h).

Particularmente, para medir el tiempo de carga diario de los montacargas eléctricos se procedió a realizar una hoja de registro (ver Apéndice 2: Figura 51) para que los operarios anotaran las horas de conexión y desconexión de las baterías. Se debe saber que la empresa cuenta con 2 montacargas, de las marcas CAT y Crown, además, poseen 3 baterías y 2 cargadores. Por otro lado, este registro fue requerido para evaluar el cumplimiento de las recomendaciones de uso de las baterías.

En el caso de los montacargas de combustión interna se realizó una hoja de registro (ver Apéndice 2: Figura 52) para que cada operario anotara los datos del horímetro y el volumen de carga de combustible diario durante 2 semanas, cumpliendo siempre en cada carga llenar el tanque completamente para poder obtener el consumo real. Además, se requirió consultar en RECOPE (Refinadora Costarricense de Petróleo) los valores del poder calorífico de los combustibles, diésel y gasolina (Tabla 4), con el fin de obtener los datos en unidades energéticas y poder analizar la diferencia de consumos respecto a los demás equipos que funcionan por medio de electricidad que se encuentran en todo el proceso de empaque. De esta manera, se realizó la conversión a partir del producto de los datos de volumen de consumo promedio diario y el poder calorífico respectivo (Refinadora Costarricense de Petróleo, 2018).

Tabla 4. Valores de poder calórico RECOPE

Combustible	Diésel 50	Gasolinas
Poder calorífico (MJ/L)	37,64	33,49

3.3.2. Consumo hídrico

Para las medidas del consumo de agua se tomaron en cuenta las operaciones que tienen contacto directo con la fruta en el proceso, los cuales son lavado y desinfección, aplicación de cera y fungicida y la selección por calibre. En el lavado y desinfección se evaluaron diferentes metodologías de medición porque la empresa no contaba con un dato previo del volumen de la pila. De esta forma, se decidió realizar mediciones directas en la pila de lavado con ayuda de un técnico de mantenimiento, quien se encargó de obtener los datos con una cinta métrica. Con esta información se procedió a realizar el modelo en 3D en el software de Autodesk Inventor 2018, donde se logró obtener el volumen de capacidad de la pila de lavado, considerando un llenado incompleto de 20 cm desde la superficie. Por otra parte, se midió también el volumen de agua de control que se utiliza para rellenar las pérdidas y mantener el agua en el mismo nivel, de esta forma, se procedió a medir el caudal de la llave que realiza esta función, con un recipiente de un volumen de 19 L y tomando el tiempo de llenado con un cronómetro, esta acción se repitió por 10 veces, para luego aplicar estadística descriptiva y obtener datos promedio y desviación estándar.

Seguidamente, debido a la falta de caudalímetro de registro en la planta, para obtener el número de veces que es requerido abrir la llave y el tiempo estimado, se procedió a diseñar una hoja de registro (ver Apéndice 2: Figura 53) para que los operarios encargados de dicha función anotaran cada vez que abrían la llave, el tiempo respectivo y el porcentaje aproximado de caudal (25 %, 50 %, 75 %, 100 %), esto porque el agua al venir de un pozo y ser utilizada para gran variedad de funciones en la empresa durante el día el caudal que se suministraba a esta llave era variable. A partir de esta información se realizó el producto del tiempo total diario por el porcentaje del caudal disponible para obtener el volumen total de relleno diario. Entonces, el volumen total consumido en esta etapa corresponde a la suma del volumen de la pila más el volumen total de relleno usado en dos días, esto último porque la empresa recircula el agua de la pila por un período de dos días, es decir, llenan la pila con agua nueva cada dos días. Para la obtención de datos aproximados se aplicó nuevamente estadística descriptiva a las 77 repeticiones realizadas en 19 días.

En la operación de postcosecha se tiene el uso de agua para las disoluciones de cera y fungicida, en este caso, se maneja un volumen conocido para cada proceso y se toman los valores directamente de los registros que realizan los operarios encargados de esta área (ver Apéndice 3: Figura 54), específicamente de los 12 días que se realizaron las mediciones de consumo eléctrico mencionados en la Tabla 3. El volumen base de agua utilizado para realizar las disoluciones es un recipiente de 160 L. En un día se realizan diferentes dosis para estabilizar la mezcla, esto depende de las condiciones, lo cual se controlan constantemente con un pH metro. Cabe mencionar que en el caso del fungicida se utiliza agua fresca cada vez que se aplica nueva dosis, mientras que para agregar nuevas dosis de cera se aprovecha durante un día la misma agua que se está recirculando en el proceso. Por último, a partir de esta información se calcula un valor promedio de consumo

diario y general de consumo de agua por cada insumo.

Para el consumo de agua en la selección 1, se identifican las boquillas encargadas de limpiar constantemente los residuos de cera en los platos de la calibradora, esta cuenta con 4 boquillas en diferentes direcciones. Entonces, se midió el caudal de cada una, para esto se contó con la ayuda de uno de los técnicos de mantenimiento, quien colocó una bolsa de plástico con cinta adhesiva en la boquilla respectiva mientras la llave estaba apagada. Seguidamente, se abrió la llave por un tiempo aproximado de 15 s, se cerró la llave, se despegó la bolsa de la boquilla y se vertió la cantidad de agua recolectada en una probeta para medir el volumen correspondiente. Este procedimiento se repitió cuatro veces para cada válvula, para un total de 16 repeticiones. Cabe mencionar, que estas mediciones se realizaron mientras el personal se encontraba en hora de almuerzo, de esta manera los equipos estaban apagados, principalmente la calibradora, lo cual es donde se encuentran ubicadas las boquillas, ya que sino no hubiera sido posible intervenir.

Finalmente, para obtener los resultados de consumo promedio de agua, se procedió a calcular el caudal promedio a partir de los volúmenes y sus respectivos tiempos de recolección. Seguidamente se obtuvo el producto de este resultado y el tiempo de trabajo diario correspondiente a 2 turnos durante los 12 días mencionados en la Tabla 3. Además, debido a que se detectan costumbres de no apagar las boquillas durante horas de comida de los operarios, se procede a realizar un estimado del consumo de agua en un tiempo de 1,5 h diarios para conocer el impacto de este.

3.3.3. *Consumo de insumos*

El cloro que se utiliza en la pila de lavado y desinfección es granulado, entonces se mide en unidades de kilogramos (kg), mientras que la cera y fungicida en mililitros (ml); la dosis de cloro es variable y no implica consumo de agua, el fungicida se aplica en dos diferentes dosis dependiendo de las condiciones, 136 ml o 160 ml por cada 160 litros de agua, la cera siempre se aplica 10,5 kg por cada 160 litros de agua. De esta forma, los datos correspondientes a los insumos diarios utilizados se tomaron directamente de las hojas de registro de la empresa, específicamente para los días de estudio, obteniendo finalmente un dato promedio de consumo diario.

Por otra parte, el volumen del combustible que se utiliza en los montacargas, tanto del área de recibo de fruta de campo, como el utilizado para en el área de formación de cajas de cartón, se consideró como un insumo. Para obtener estos datos, se toma en cuenta el registro que brinda el horímetro del equipo y la relación que tiene con el volumen que se requiere para llenar el tanque si en la carga de combustible anterior se dejó en tanque lleno. De esta forma, se realiza un promedio de volumen de consumo diario entre las mediciones realizadas por 2 semanas para cada uno de los combustibles, diésel y gasolina.

Finalmente, el dato de la cantidad de cajas utilizadas diariamente se obtuvo con referencia a la cantidad de cajas empacadas de piña, lo cual se reporta por medio de los registros de la empresa con base al software de la calibradora.

3.3.4. Operarios

La cantidad de personas se controló por medio de la observación diaria, datos de la empresa y consultas a los encargados, ya que la cantidad de operarios varía constantemente en algunas de las labores, e incluso se tienden a rotar algunos puestos. De esta forma, se estandarizó la cantidad de personas que trabajan en cada área y en cada turno para obtener valores en cuanto a la cantidad de operarios y funciones.

3.3.5. Cálculo del índice de desempeño

Para cada una de las mediciones de consumos realizadas se procedió a calcular el índice de desempeño con base a las toneladas de piña desde el campo (entrada) y toneladas de fruta empacada (salida), de esta forma los datos de estas cantidades de producto se tomaron de los registros reportados diariamente por el software de la calibradora de la planta de empaque. Entonces, se desarrolla a partir de esto una comparación de consumos con base a la producción entre cada etapa, tanto para los insumos en unidades de medición de kg/t, L/t, cajas/t y unid/t, como para el consumo de agua en L/t y consumo energético en unidades de medición de kWh/t.

Finalmente, se graficó por etapas para comparar los consumos en cada una de estas y así determinar los equipos que consumen más e identificar puntos críticos que se podrían mejorar.

3.4. Mejoras del proceso

Se requirió de visitas y análisis del proceso detalladamente junto al Jefe de planta de la empresa, en donde se observaron el flujo del proceso completo, uso de espacios, metodología de gestión de operaciones, tiempos muertos, personal, equipos e infraestructura. Se evaluó con base a los consumos energéticos e hídricos que se determinaron en el primer objetivo. De esta manera, también fue esencial el conocimiento previo por medio de la experiencia, en donde se pudieron encontrar puntos de mejora que facilitan el desarrollo de las funciones para ahorro de tiempo y de recursos, reducción de costos, orden en la gestión de trabajo y menor impacto ambiental. Por otra parte, se integró la opinión de los operarios de empaque, encargados de mantenimiento, administración y gerencia de la empresa, con el fin de conocer la historia, necesidades y metas a futuro previamente planteadas. A partir de cada una de estas observaciones se procedió a plantear las mejoras según las necesidades e intereses de la empresa.

3.5. Sistema de gestión energética

La propuesta del sistema de gestión energética se partió de la revisión de los registros existentes que se han tomado en años anteriores sobre la gestión general de planta en cuanto al mantenimiento de equipos, control de consumo de estos, inventarios y demás información relevante. Además, se consultaron las normas aplicadas en la empresa, ya que estas tienen puntos en los que se relacionan con el recurso energético, como lo es el caso de las normas ISO y su cultura organizacional, las cuales están relacionadas entre sí. De este modo, se hizo el análisis de procedimiento para la evaluación de la aplicación de la norma ISO 50001, en donde se desarrollaron los pasos para que la empresa tenga la base de datos de mejoras que se deben realizar para dicha certificación. Se buscó principalmente los puntos basados en consumo y tipo de energía, variables que afectan el consumo,

uso de la energía y medición y monitoreo. Para este análisis se tomó los resultados obtenidos del objetivo uno específicamente del perfil energético que se elaborará. De este modo, los equipos de medición para este caso son los que se utilizaron en dicho apartado.

La norma ISO 50001 se desarrolló siguiendo en una serie de pasos, como se muestra en la Tabla 5 a continuación:

Tabla 5. Procedimiento para evaluación de la norma ISO 50001

#	Pasos
1	Determinar alcance
2	Dividir por bloques
3	Definir criterio de selección de USE (Uso Significativo de Energía)
4	Seleccionar bloque (s) que cumplan el criterio definido
5	Detallar información de bloque (s) seleccionado
6	Determinar factores estáticos y variables comunes
7	Analizar compras energéticas
8	Distribuir consumos por USE
9	Relacionar compras energéticas con variables
10	Determinar los IDEn (Indices de Desempeño Energético) a medir
11	Determinar objetivos energéticos de la empresa
12	Indicar plan de acción para las mejoras observadas
13	Definir plan de medición para evaluación de mejoras
14	Trazar la LBEn (Línea Base Energética)

3.6. *Análisis de costos de inversión*

Se partió de la consulta de recibos eléctricos y costos de consumo de combustible mensuales. De esta manera, se evaluó la inversión requerida para las mejoras que se plantearon y la reducción de costos que esto implica para la empresa asociado únicamente a la propuesta planteada. Además, se utilizó como monto de inversión inicial un porcentaje del total destinado por la empresa anualmente para mantenimiento del área en estudio. Finalmente, se realizó la comparación de 2 escenarios en donde se varió el método de adquisición de uno de los equipos para determinar por medio del VAN y TIR cuál resultó ser más rentable.

3.7. *Análisis de datos*

Para el análisis estadístico se utilizó el software Minitab y Excel, en donde se obtuvieron el análisis de los datos y gráficos correspondientes. Se aplicó estadística descriptiva para determinar los consumos energéticos, hídricos e insumos.

4. RESULTADOS

4.1. Perfil de consumos

Para mejor perspectiva en el análisis del proceso de empaque de la empresa y su metodología de trabajo, se muestra la división de operaciones detalladamente en el diagrama de la Figura 2.

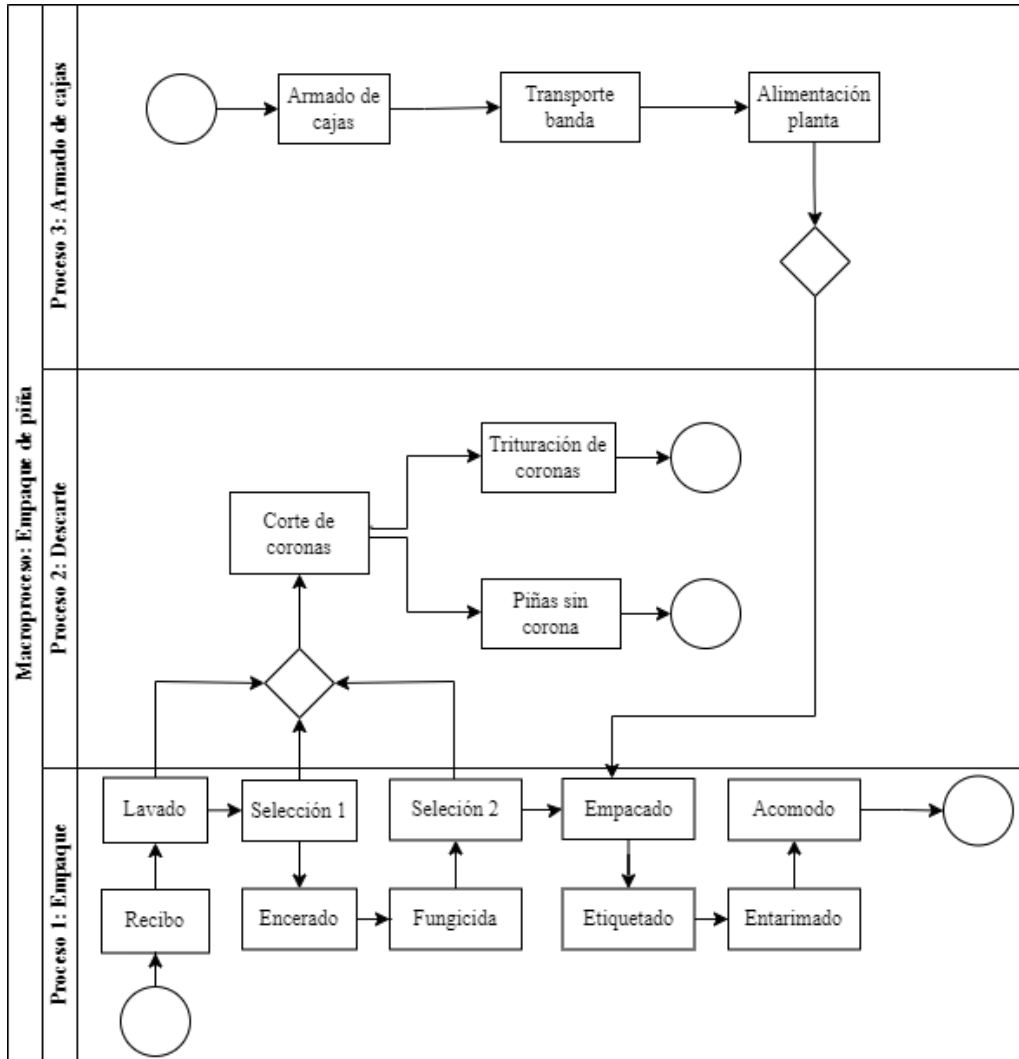


Figura 2. Diagrama de carriles por procesos.

En esta figura se toma el macroproceso principal como empaque de piña, este se compone de 3 procesos: empaque, descarte y armado de cajas, cuyo orden no hace referencia a una secuencia como tal en el macroproceso, ya que suceden simultáneamente. Seguidamente, cada uno de estos procesos está compuesto por una serie de acciones que llamamos actividades. Estas se conectan entre actividades de un mismo proceso siguiendo la secuencia establecida. Además, estas hacen conexión entre los 3 procesos representadas por medio de un rombo. Finalmente, el círculo que se adjunta en los procesos indica el inicio y/o finalización de este.

Consiguientemente, se muestra el diagrama de flujo realizado, lo cual muestra el macroproceso como tal completo desde la entrada de la fruta a la planta hasta la salida del producto empaquetado (Figura 3).

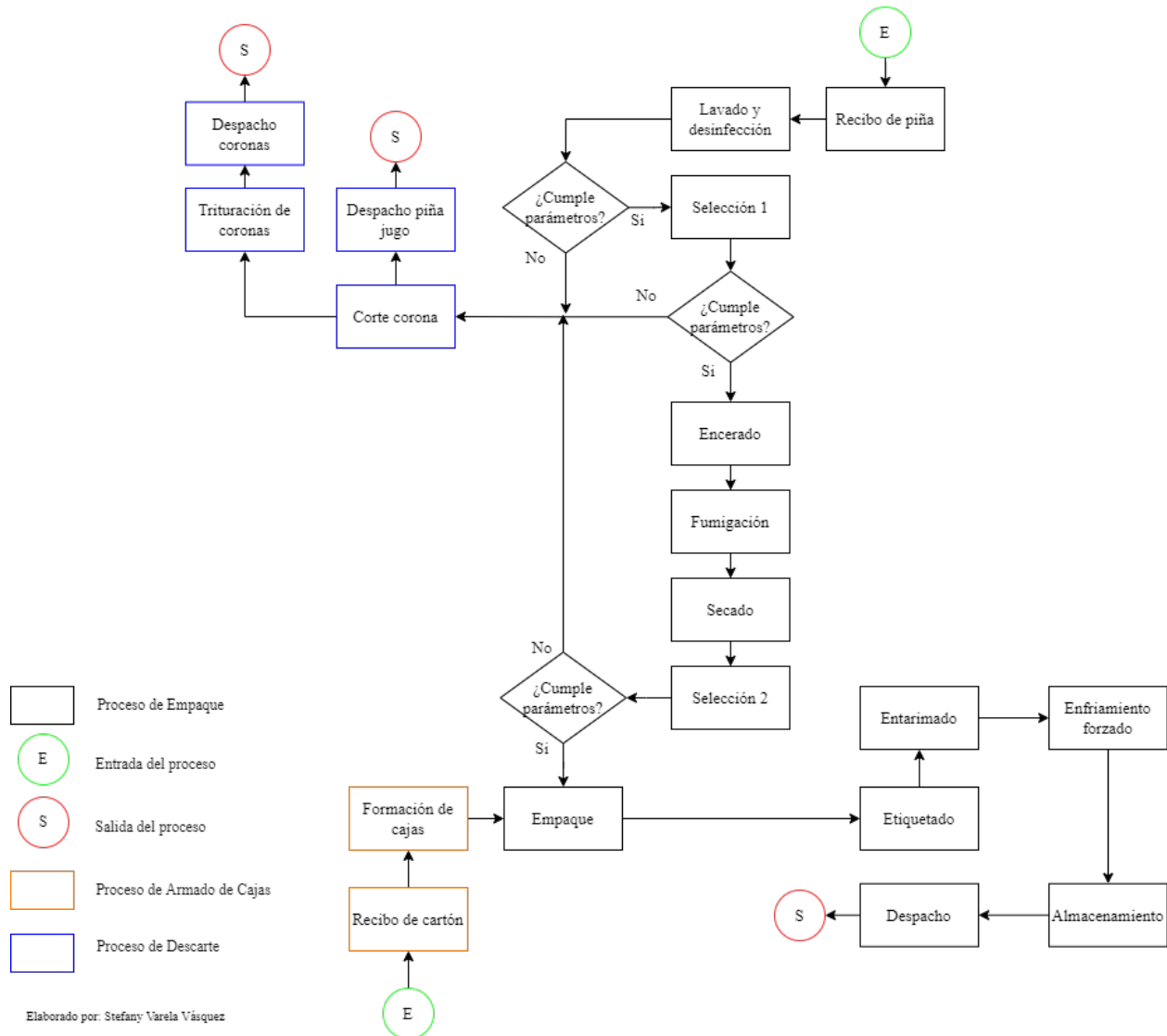


Figura 3. Diagrama de flujo empaque de piña Upala Agrícola.

En esta figura se observan todas las etapas del macroproceso en secuencia de ocurrencia de inicio a fin, de esta forma, se observa el flujo de la entrada de las cajas de cartón para empaque y la salida de las piñas de descarte. Además, se muestran las 3 actividades que alimentan el descarte, en las cuales se hace una selección previa en el área de lavado y en la selección 1 y selección 2. En la etapa de lavado el descarte se realiza en la pila cuando entran los bins llenos de fruta, estos descargan las piñas y en este momento donde el producto está sumergido las piñas por densidad ascienden o descienden. De tal forma, las piñas que se van al fondo de la pila son impulsadas por una banda transportadora que las dirige al área de descarte, la razón es porque presentan fisuras en la cáscara y el agua ingresa al interior de esta, esto puede ser causado por alguna plaga o por

daños mecánicos en el campo o transporte.

La planta cuenta con un área aproximada de $6000 m^2$, su distribución se puede observar en la Figura 4 donde se presenta un plano con proporciones estimadas. Cada una de las etapas está debidamente señalada por un código respectivo, donde las 2 primeras letras indican las iniciales de la actividad y el número después del punto indica la secuencia de ocurrencia en la línea de empaque. Además, se identifican de color azul la ubicación de cada uno de los equipos estudiados.

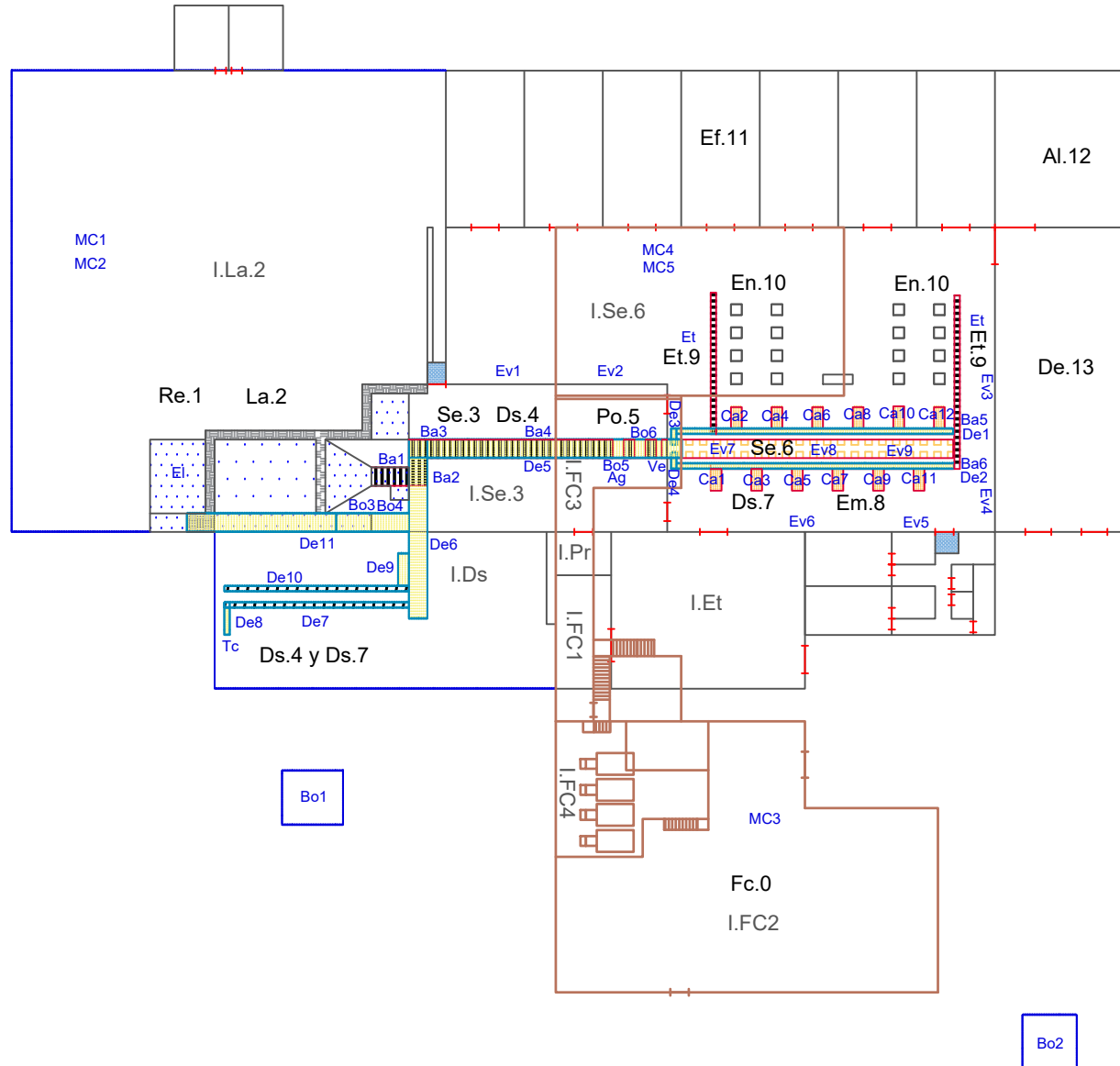
De esta forma, en la Figura 4 se puede ver el punto de entrada de fruta de campo (Re.1), el recorrido dentro de la planta y el punto de salida (De.13) en los contenedores encargados de transportar hasta la costa del Caribe para su respectivo destino de exportación.

Por otra parte, en la Figura 4 se detalla la línea de proceso destinada al producto de rechazo, en el cual puede apreciar los puntos de entrada de fruta las cuales son el área interna de la planta (Se.6) y el área externa donde se realiza específicamente el proceso de selección (Se.3). Luego, se muestran los puntos de salida, las cuales son las coronas picadas y la piña sin corona (Ds.4 y Ds.7).

La piña de rechazo se considera una fruta que no cumple con los parámetros establecidos por los clientes, en este caso el calibre, alguna deformación, daño físico o apariencia diferente al estándar, como por ejemplo las piñas con múltiple corona (ver Apéndice 4: Figura 55). De esta manera, este producto sin corona se destina a empresas que la utilizan para preparación de jugos. Y en el caso de la corona, la cual pasa por un proceso de trituración, se utiliza para la alimentación de ganado de algunos agricultores de la zona dedicados a esta labor.

Seguidamente, se encuentra la actividad correspondiente al armado de cajas de cartón para el empaque, cuya distribución se observa en la Figura 5. Esta área está ubicada en el segundo piso de la planta de empaque, de esta forma cuenta con diferentes tareas, desde la entrada del material de cartón, hasta la salida de las cajas formadas que conectan y alimentan el área de empaque constantemente según la demanda establecida. Además, en esta área se tiene almacenadas las cajas que se producen mientras no se requieran, ya que cada cliente cuenta con una caja con diseño diferente. Cabe resaltar que todas cuentan con las mismas mediciones, solamente una de estas tiene características especiales e incluso requiere utilizar una máquina formadora de cajas distinta.

Equipos	Cód.
Agitador encerado	Ag
Banda salida pila	Ba1
Banda redireccional #1	Ba2
Banda redireccional #2	Ba3
Banda cajas llenas #1	Ba4
Banda cajas llenas 2	Ba5
Bomba del pozo #1	Bo1
Bomba del pozo #2	Bo2
Bomba de lavado #1	Bo3
Bomba de lavado #2	Bo4
Bomba encerado	Bo5
Bomba fumigación	Bo6
Calibradora #1	Ca1
Calibradora #2	Ca2
Calibradora #3	Ca3
Calibradora #4	Ca4
Calibradora #5	Ca5
Calibradora #6	Ca6
Calibradora #7	Ca7
Calibradora #8	Ca8
Calibradora #9	Ca9
Calibradora #10	Ca10
Calibradora #11	Ca11
Calibradora #12	Ca12
Banda descarte #1	De1
Banda descarte #2	De2
Banda descarte #3	De3
Banda descarte #4	De4
Banda descarte #5	De5
Banda descarte #6	De6
Banda descarte #7	De7
Banda descarte #8	De8
Banda descarte #9	De9
Banda descarte #10	De10
Banda descarte #11	De11
Etiquetadora	Et
Evaporador #1	Ev1
Evaporador #2	Ev2
Evaporador #3	Ev3
Evaporador #4	Ev4
Evaporador #5	Ev5
Evaporador #6	Ev6
Evaporador #7	Ev7
Evaporador #8	Ev8
Evaporador #9	Ev9
Montacarga #1 diésel	MC1
Montacarga #2 diésel	MC2
Montacarga gasolina	MC3
Montacarga cat #1	MC4.1
Montacarga cat #2	MC4.2
Montacarga crown #1	MC5.1
Montacarga crown #2	MC5.2
Trituradora de coronas	Tr



Operaciones	Cód.
Formado de cajas	FC.0
Recibo	Re.1
Lavado	La.2
Selección #1	Se.3
Descarte #1	Ds.4
Tratamiento poscosecha	Po.5
Encerado	Po.5.1
Aplicación fungicida	Po.5.2
Secado	Po.5.3
Selección #2	Se.6
Descarte #2	Ds.7
Empacado	Em.8
Etiquetado	Et.9
Entarimado	En.10
Enfriamiento forzado	Ef.11
Almacenamiento	Al.12
Despacho	De.13
Iluminación Lavado	I.La.2
Iluminación Selección #1	I.Se.3
Iluminación Selección #2	I.Se.6
Iluminación Premezclas	I.Pr
Iluminación Descarte	I.Ds
Iluminación Bodega	I.Et
Iluminación Cajas #1	I.FC1
Iluminación Cajas #2	I.FC2
Iluminación Cajas #3	I.FC3
Iluminación Cajas #4	I.FC4

Figura 4. Plano completo de planta de empaque

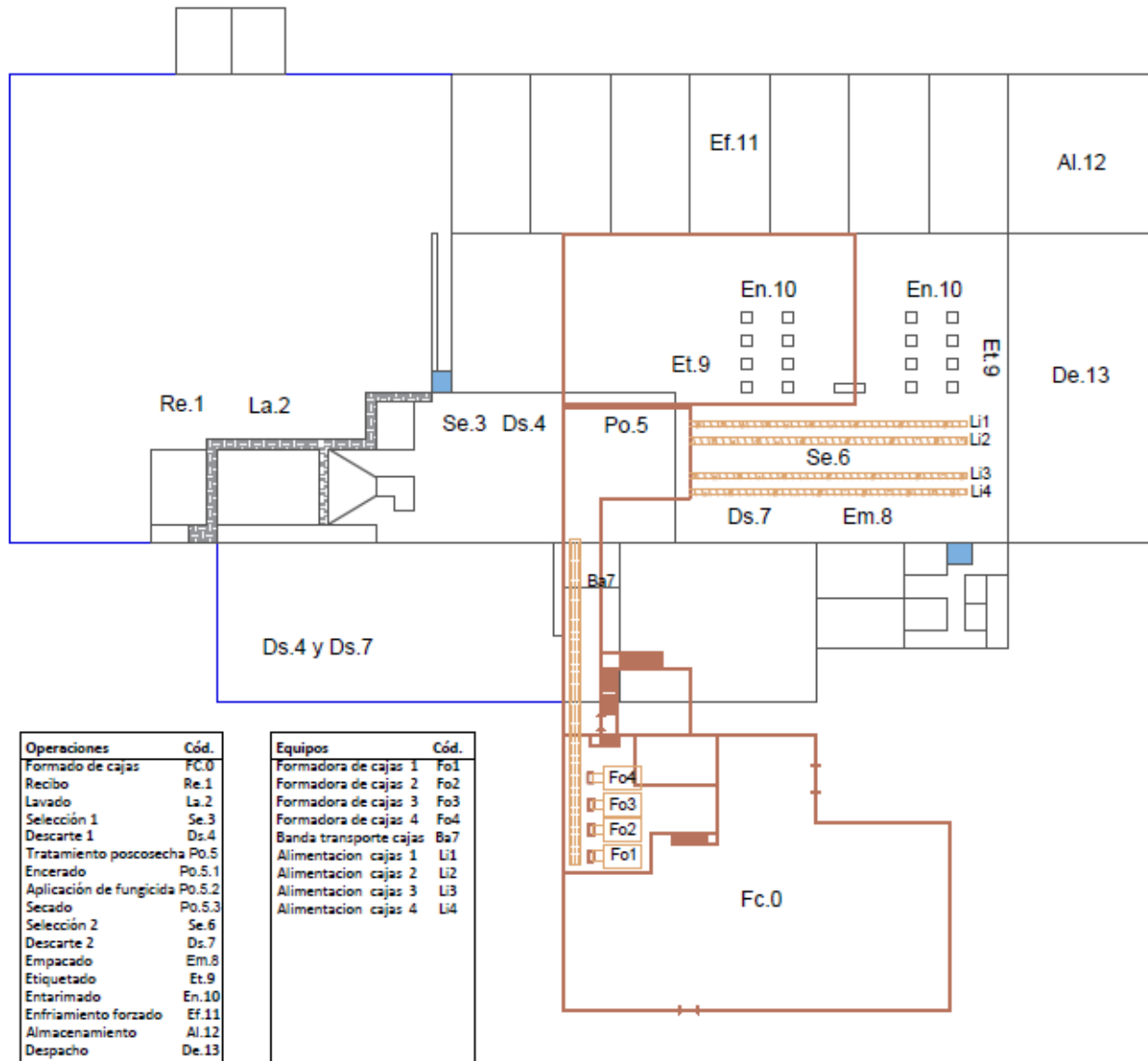


Figura 5. Plano de planta área de cajas de empaque (área resaltada línea color marrón)

En la figura anterior se puede observar 4 líneas de bandas paralelas representadas horizontalmente en el diagrama (Li1, Li2, Li3, Li4), las cuales funcionan por medio de gravedad con una inclinación, desde el segundo piso hasta el primer nivel (Figura 6), y roles; esto significa que estas bandas no requieren el uso de energía eléctrica para su uso. Por otra parte, se muestra una banda representada de forma vertical en el diagrama (Ba7) la cual si requiere energía eléctrica para transportar las cajas una vez armadas (Figura 7).



Figura 6. Bandas de transporte cajas por gravedad planta (Li1, Li2, Li3, Li4)

En la figura anterior se observa que son 5 bandas de cajas por lado de empaque de la calibradora, que se divide en 1 línea doble y 1 triple, para un total de 10 bandas.



Figura 7. Banda de transporte del área de armado de cajas (Ba7)

Durante el tiempo de estudio la empackadora tuvo una producción diaria aproximada de 220 t de piña empacada, en el gráfico de la Figura 8 se puede observar la variación de esta durante las 4 semanas de mediciones principales. Este período evaluado de acuerdo con la gerencia de producción, corresponde a un período medio/alta donde la producción decae en 12 % en noviembre respecto a la producción mensual máxima anual del 2021, la cual corresponde al mes diciembre con 7 949,71 t. Además, se muestra la relación de esta con la cantidad de piña que entra desde el campo en la planta.

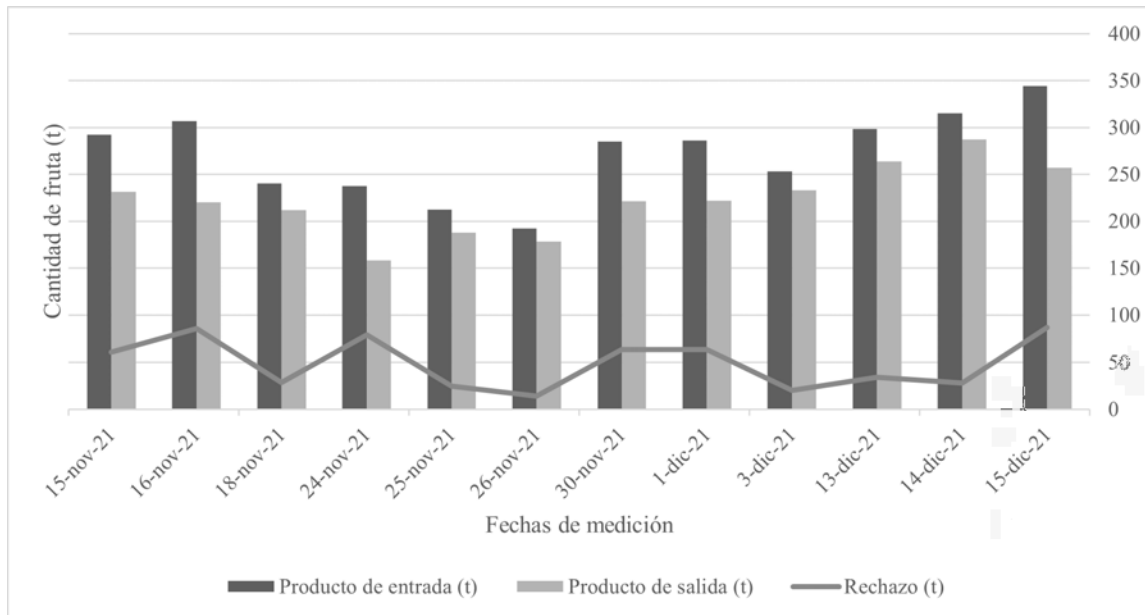


Figura 8. Gráfico de comparación entre la cantidad de piña de entrada y de salida del proceso diariamente.

De esta manera, se tiene una tercera línea que indica la variación de la diferencia entre entrada y salida de fruta, lo que representa el descarte que se pierde cada día. El valor mínimo de rechazo reportado fue de 14 t y el valor máximo de 87 t. Este último representa hasta un 33 % de piña que se produce en campo, pero no llega al mercado principal de exportación, en promedio se obtuvo 49,26 t con una desviación estándar de 27 t. Además, toda esta fruta pasa por la etapa de recibo y lavado, consumiendo recursos, y un porcentaje de este también consume los insumos de postcosecha, como cera y fungicida.

4.1.1. Consumo Energético

Se muestra inicialmente en la Figura 9 los resultados obtenidos de consumo energético en general para todos los equipos utilizados en las funciones de la línea de empaque mencionados en la Tabla 2. Esta Tabla indica que la mayoría de estos presentan un consumo estable en el tiempo, sin embargo, se encontraron otros equipos que presentan variadores de frecuencia, lo cual afecta en esta estabilidad de consumo.

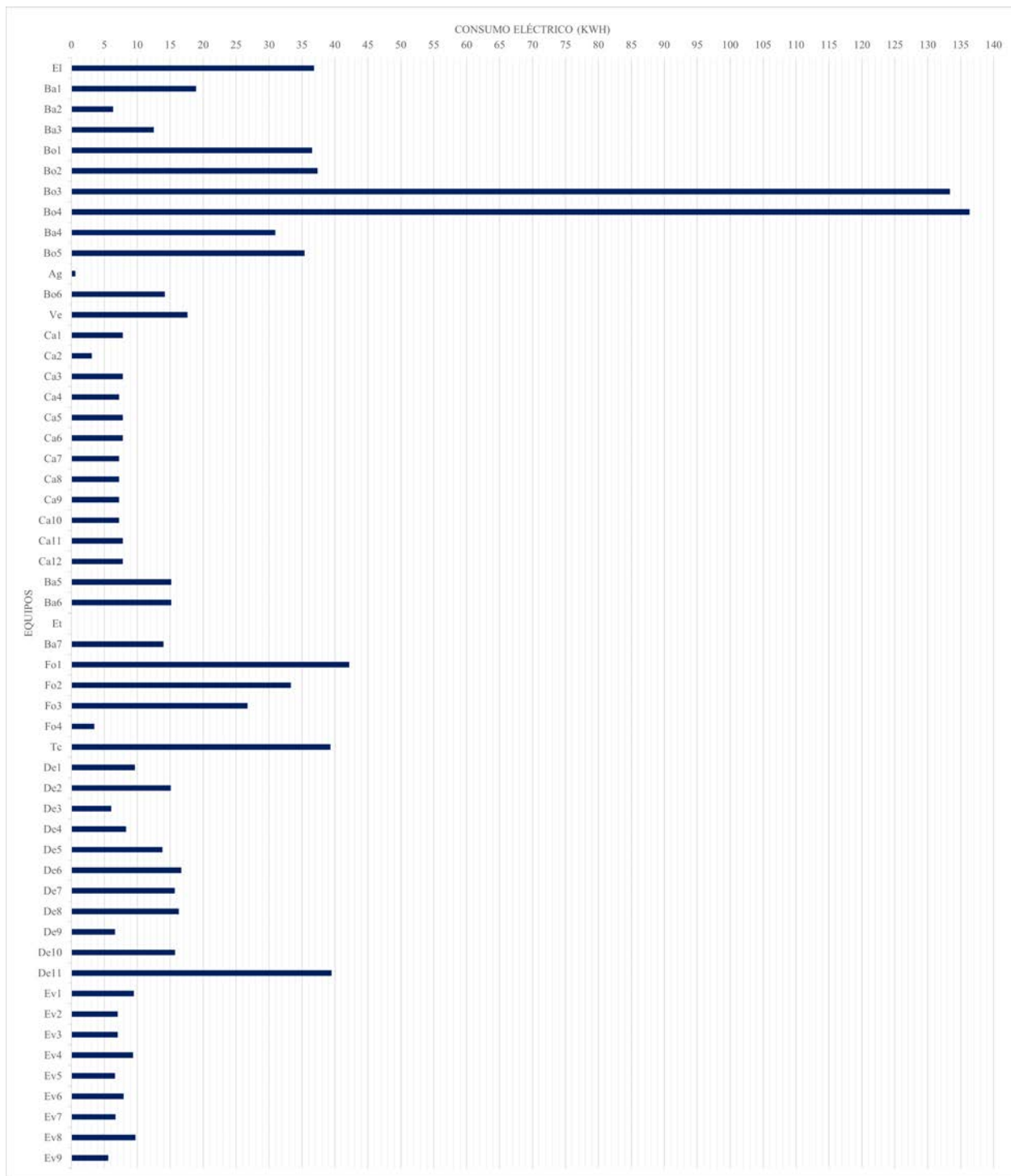


Figura 9. Desglose del consumo energético de todos los equipos en estudio.

De este se puede destacar que los equipos con mayor consumo eléctrico son las bombas del área de lavado de la fruta (Bo3, Bo4), con valores mayores a los 130 kWh. En contraste, se identifica que el equipo con menor consumo es el agitador (Ag) del área de aplicación de productos postcosecha, específicamente la cera, con un valor menor a 1 kWh. En secuencia se realiza una comparación entre las bombas que componen todo el proceso de empaque, en donde se puede observar en la

Figura 10.

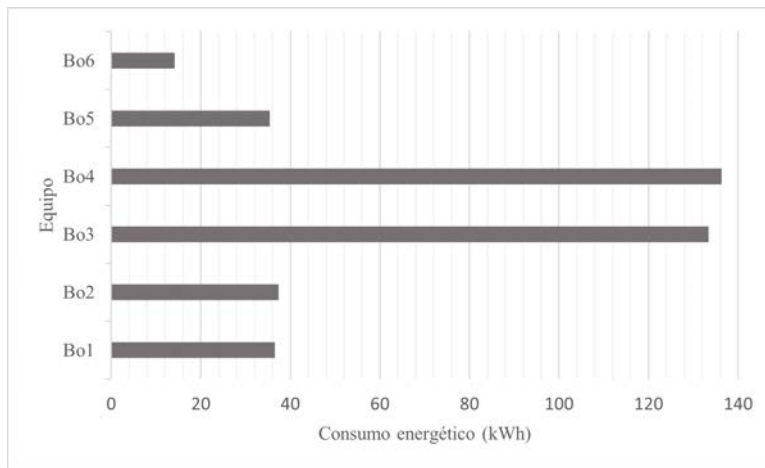


Figura 10. Desglose del consumo energético de las bombas.

A partir de esta figura se logra apreciar que el consumo de las bombas presenta valores importantes, principalmente las utilizadas en la etapa de lavado y desinfección, ya que son las encargadas de bombear cantidades de agua mayores. De esta forma, el área de lavado se determina como un punto crítico de consumo energético. Por otra parte, se toman los resultados de consumos mayores a 30 kWh, omitiendo el consumo de las bombas de lavado, cuyos equipos representan entonces un consumo mayor secundario (Figura 11).

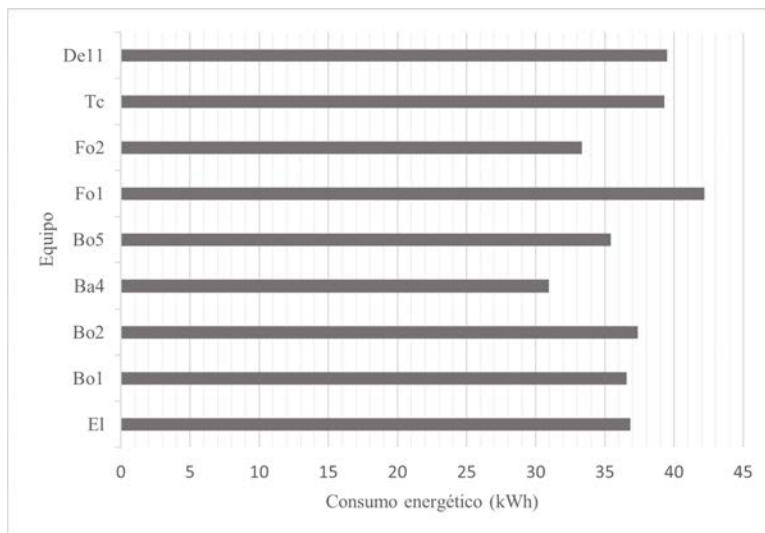


Figura 11. Equipos de consumo energético mayor secundario.

Se obtienen un total de 9 equipos con valores de consumo entre 30 y 42 kWh aproximadamente, entre los cuales, la formadora de cajas 1 (Fo1) predomina entre estos equipos. Además, se tiene un consumo elevado de la trituradora de coronas (Tr), la cual corresponde a una actividad del proceso de descarte, lo que se podría catalogar como un gasto innecesario, ya que no es parte del proceso principal de empaque de piña fresca. Esto conlleva a ser un punto crítico de consumo importante

de analizar.

Por otro lado, se tiene una comparación de las bandas transportadoras involucradas en los 3 procesos, de empaque, descarte y armado de cajas, lo que suman 30 bandas que se encargan de transportar fruta, cajas y cajas con frutas (Figura 12).

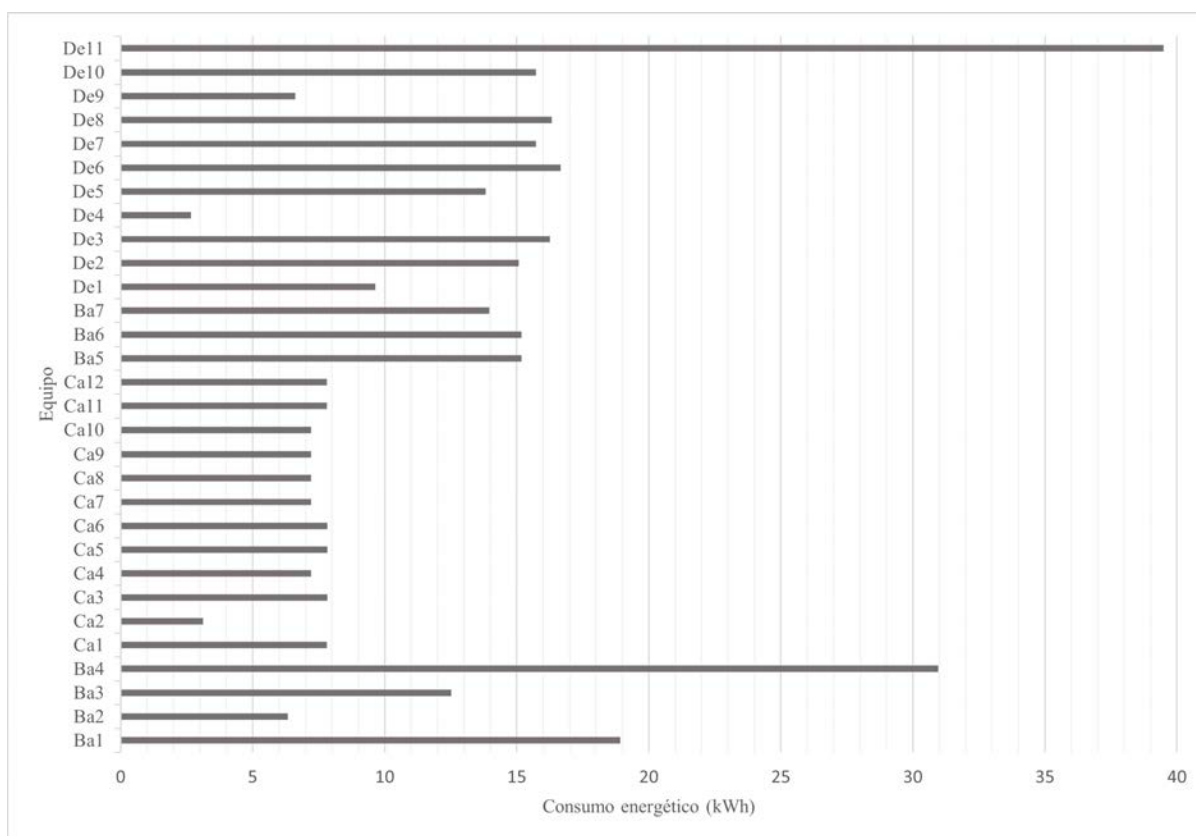


Figura 12. Comparación de consumo eléctrico entre bandas del macroproceso en estudio.

De estos resultados es relevante observar el consumo medido de la banda de descarte 11 (De11), lo cual corresponde al valor de 2 bandas con motores de 3 HP cada una, las cuales están sincronizadas para realizar la función de transportar las frutas de rechazo localizadas en el fondo de la pila de lavado hacia el área de descarte en la superficie. De esta forma, al igual que la trituradora tienen un consumo mayor en comparación que las demás bandas a pesar de que forma parte del proceso de descarte. De este modo, estas se determinan como un punto crítico de consumo.

Además, se observa que la banda de selección 1 y 2, tiene un valor de consumo de aproximadamente 30 kWh y forma parte de los equipos de mayor consumo secundario general. Sin embargo, este valor comprende el consumo de la banda de selección 1, la cual es la misma en la que se dan las actividades de aplicación de insumos postcosecha, y además toma en cuenta el valor de la banda de transporte del área de selección 2, lo que corresponde a la banda calibradora principal, donde se hace el pesaje y distribución de los diferentes calibres según la programación del software respectiva. Finalmente, una observación importante es la variación de consumos entre

las 2 bandas pequeñas de descarte, las cuales son del mismo tamaño, pero presentaron mediciones de consumo con más de 10 kWh de diferencia entre ellas.

Por otra parte, los resultados obtenidos del consumo de los cargadores de los montacargas eléctricos se muestran en la Figura 13.

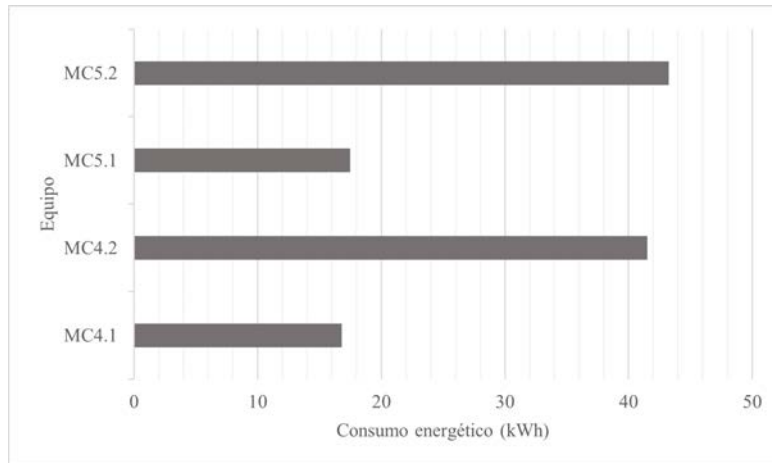


Figura 13. Comparación de consumo eléctrico entre cargadores de montacargas.

En primera instancia se puede observar la variación entre el consumo del cargador 1 y 2, donde independientemente del montacarga utilizado, el consumo del cargador 1 es mayor, a pesar de que el tiempo de carga no varía entre un cargador u otro. De este modo, el factor que afecta el consumo es la potencia real medida en planta, donde el cargador 1 presentó un valor de 1,43 kW, mientras que el cargador 2 el valor de potencia fue de 3,53 kW. Además, entre la marca de montacargas se presenta una proporción de 4 % aproximadamente mayor consumo del montacarga CROWN respecto al montacarga marca CAT en ambos cargadores. Este resultado podría estar ligado a la preferencia de los operarios en utilizar el montacarga CROWN, sin embargo, al no presentar un sistema de carga controlado por horarios no se puede concluir que esta sea la causa principal.

Seguidamente, se hizo el mismo análisis para los montacargas de combustión interna, cuyos resultados se presentan en la Figura 14.

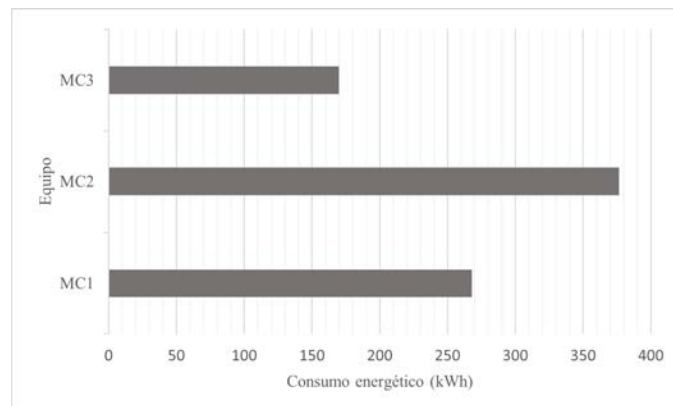


Figura 14. Consumo energético de montacargas de combustión interna.

En donde, ambos montacargas que operan con diésel (MC1, MC2) presentan valores mayores de consumo energético de hasta más del 50 % en relación con el montacarga que opera con gasolina (MC3). Esto se debe a que el diésel aparte de tener un poder calórico mayor que el de la gasolina (Tabla 4), también es el que se utiliza por más horas en las labores de recibo de bins de campo y trabaja con mayor área de desplazamiento, en comparación con el montacarga de gasolina que se utiliza en el área de bodega de cartón. En este caso tanto el montacarga de diésel como gasolina cargan un máximo aproximado de 0,5 t.

Finalmente, se observa una comparación general de consumos energéticos entre los montacargas eléctricos y los montacargas de combustión interna en la Figura 15. De esta manera, se muestra que el consumo energético en unidades de kWh es mayor para el caso de los montacargas de combustión interna.

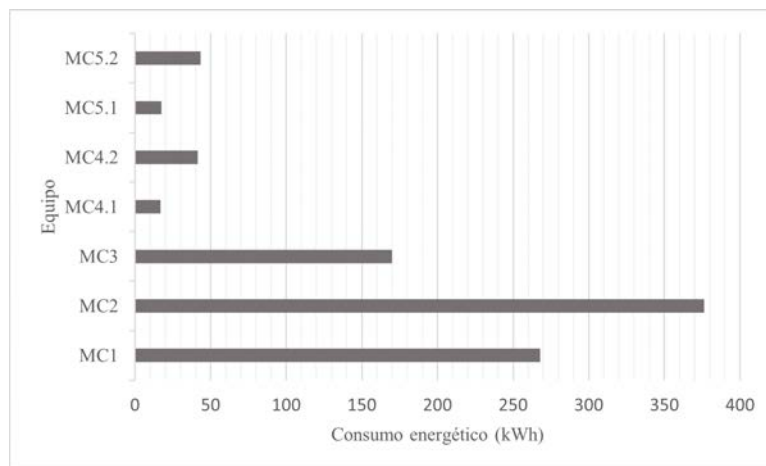


Figura 15. Comparación de consumo energético entre montacargas de combustión interna y eléctricos.

Este resultado, muestra que al utilizar combustibles fósiles se requiere mayor consumo energético en transporte en comparación con la fuente eléctrica. Siendo así, es relevante mencionar que en este caso los montacargas eléctricos manejan cargas elevadas de tarimas con cajas de piña empacada de hasta 1,0 t, así como una altura de elevación de hasta 9 m para acomodar las tarimas en el área de almacenamiento de espera antes del despacho de la planta de empaque, lo que demuestra que a pesar de realizar un trabajo importante al igual que el montacarga de diésel y gasolina, de igual forma tiene valores de consumo energético de mínimo 75 % menos que los montacargas eléctricos.

Para el caso de los evaporadores, encargados de mantener el área dentro de planta (selección 2, empaque, entarimado) en temperaturas cercanas a 18 °C, no presentan una variación importante en los consumos energéticos (Figura 16) con un promedio de 7,7 kWh y una desviación estándar de 0,24 kWh en donde el rango de consumo es entre 6 y 10 kWh aproximadamente.

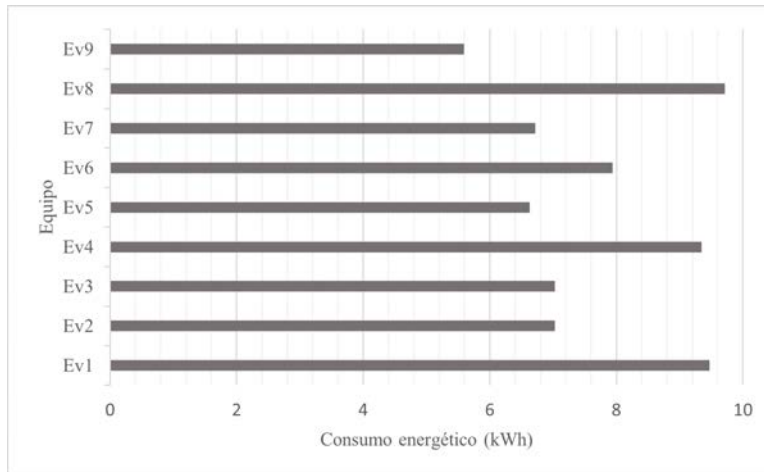


Figura 16. Comparación de consumo energético de evaporadores dentro de planta.

Finalmente, la iluminación presenta una variación de consumos importante con un valor de 4,28 kWh y una media de 4,16 kWh, sin embargo, esto es acorde a la cantidad de fluorescentes que ubicados según el área. Como es el caso del área de selección 2, lo que corresponde a una cantidad de 17 lámparas, en contraste con el área de materiales de premezcla de postcosecha que cuenta solamente 1 lámpara (Figura 17).

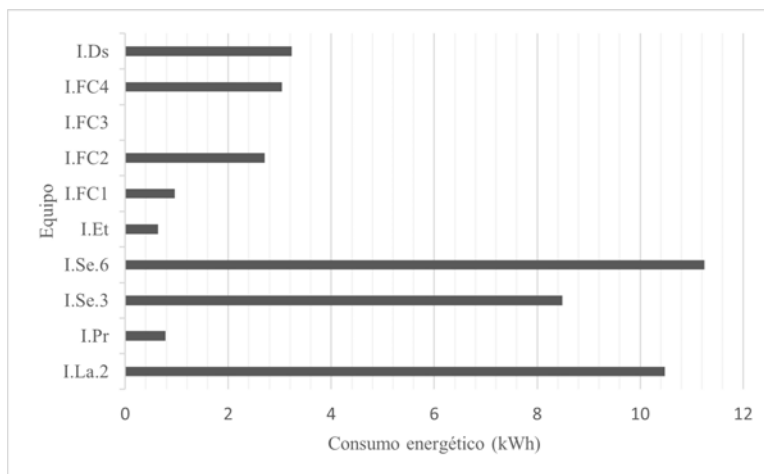


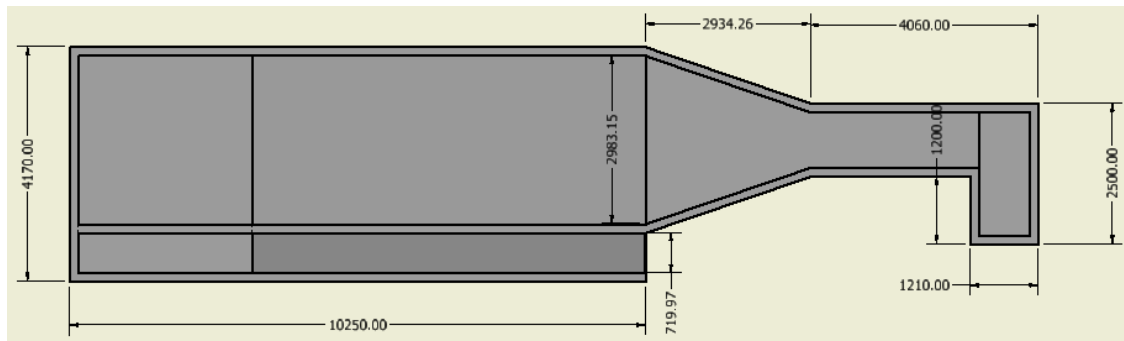
Figura 17. Comparación de consumo energético en Iluminación.

De esta manera, se puede apreciar que en los lugares donde existe más consumo de iluminación es en las áreas de selección 2, selección 1 y lavado. Lo que cumple con lo concluido anteriormente, estas áreas son las que presentan mayor cantidad de bombillos. Además, en el caso de las 2 áreas de selección es importante mantenerlas encendidas durante todo el tiempo de trabajo con una intensidad apropiada para que los operarios logren observar las piñas correctamente para identificar anomalías que se consideren para fruta de rechazo.

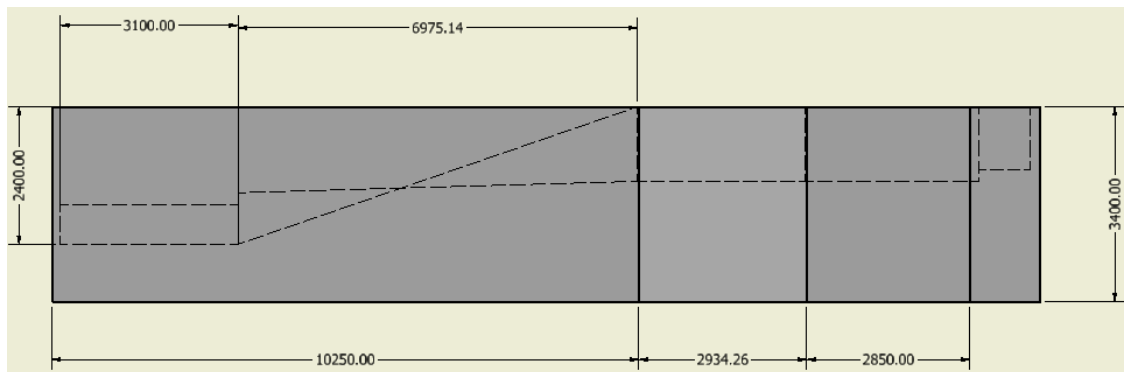
4.1.2. Consumo Hídrico

El consumo de agua se da en 3 etapas del proceso de empaque, en el lavado, aplicación de insumos postcosecha y en la selección 2, este último específicamente en la limpieza de la calibradora.

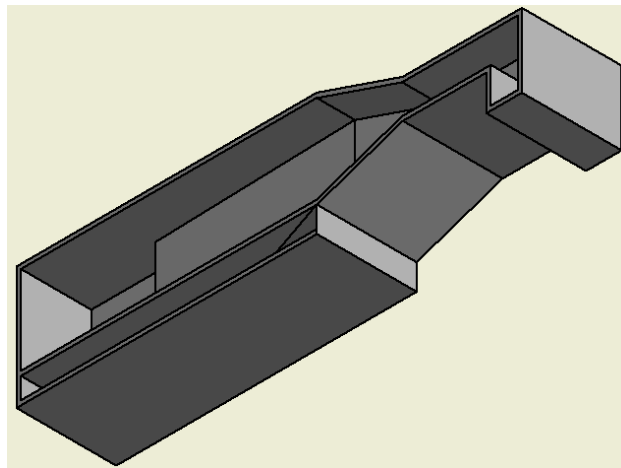
Inicialmente, se midió las dimensiones de la pila de lavado de fruta para determinar la capacidad volumétrica (Figura 18).



(a) Vista aérea



(b) Vista lateral



(c) Vista 3D

Figura 18. Dimensiones de la pila de lavado de fruta

Seguidamente, en la Figura 19 se observa el porcentaje de consumo de agua en general en cada una de las etapas.

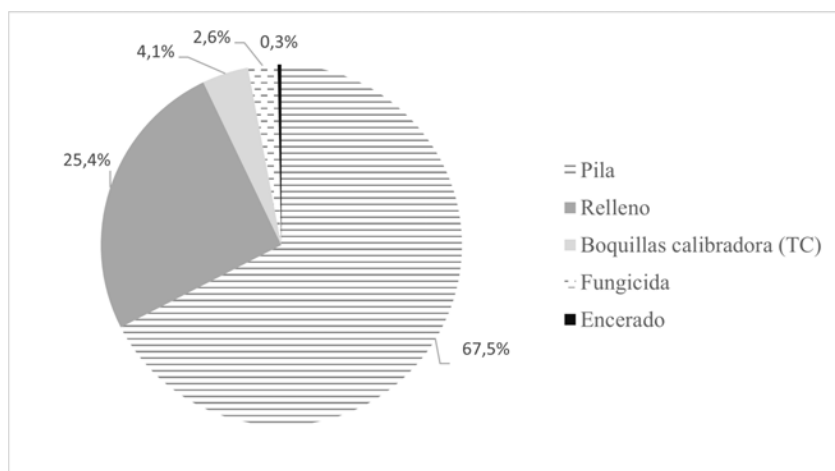


Figura 19. Consumos de agua general en cada etapa que requiere este insumo (porcentajes con base al total consumido en el proceso en estudio)

Además, se incluye el valor de la cantidad en litros de agua de relleno utilizado en la pila de lavado para sustituir la cantidad de agua que se pierde en esta área al sumergir los bins o bien por medio de la colisión del agua de los aspersores en la fruta, paredes de la pila y elevador de bins, así como el agua que se adhiere a las piñas. De esta forma, como es de esperar, el volumen de agua del área de lavado es el de mayor consumo, mientras que el punto de menor consumo es en la aplicación de cera en la fruta, esto porque en un día se recircula la misma cantidad de agua inicial, entonces se mantiene constante en un valor de consumo diario de 160 L. A diferencia del agua utilizada en la aplicación de fungicida, la cual si se cambia hasta 2 o 3 veces por turno cada vez que se agrega una nueva dosis de fungicida. En la Tabla 6 se desglosan los valores correspondientes en litros.

Tabla 6. Consumos de agua general

Equipo	Consumo (L)
Pila	32 155
Relleno de pila	12 122
Encerado	160
Fungicida	1 253
Boquillas calibradora (TC)	1 978
Boquillas calibradora (TA)	904

Seguidamente, se identifica el consumo de las boquillas de limpieza de la calibradora con un valor promedio de 1 978 L diarios en funcionamiento turno de trabajo (TC), sin tomar en cuenta tiempos de comidas. Para este análisis se realizó una comparación entre el consumo de agua de las 4 boquillas de limpieza en horas de trabajo y en tiempos de comida (Figura 20), ya que se identificó varias veces que estas boquillas seguían funcionando en horas de recesos o incluso cuando ocurre alguna falla y se detiene el proceso por tiempo prolongado.

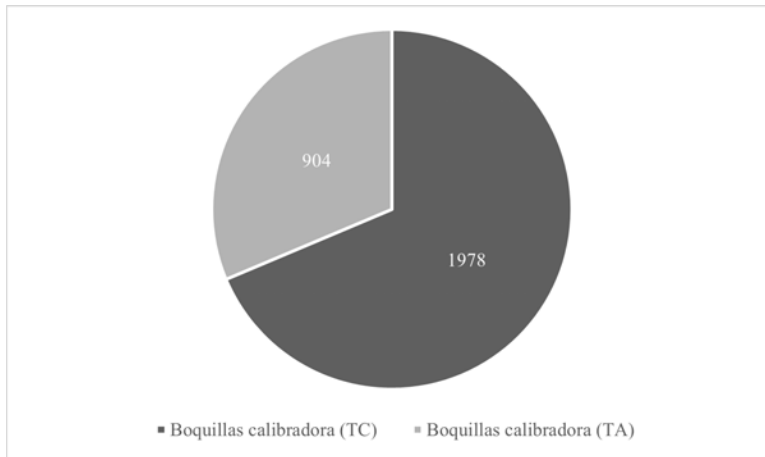


Figura 20. Consumo de agua (L) de las boquillas de la calibradora en tiempo completo (turno de trabajo) (TC) y tiempo de alimentación (1,5 horas) (TA).

En este caso, se obtuvo que el valor de consumo de agua diario, en tiempos de alimentación, lo que corresponde a 1,5 horas en ambos turnos, es de 45,7 % del total que se consume en tiempo completo de trabajo. Este valor indica que en caso de no cerrar las boquillas de limpieza en tiempos de alimentación durante un mes el consumo de agua de este punto sería en total de 86 458 L, mientras que si se controla este consumo solamente para tiempos de trabajo el consumo mensual es de 59 340 L.

Por otro lado, se tiene la comparación de consumo de agua del tanque de la pila y el volumen de relleno utilizado, los resultados se muestran en la Figura 21, donde se logra apreciar la proporción de agua que se debe agregar diariamente con respecto al volumen de capacidad total de la pila, lo que desde otro punto de vista este volumen de control corresponde al volumen de pérdida de agua diaria.

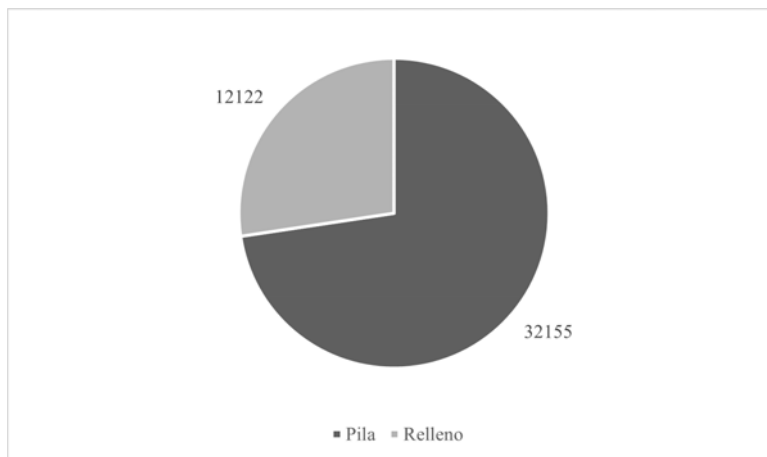


Figura 21. Consumo de agua diario en el tanque de lavado y relleno de control (L).

De esta forma, se obtiene que se debe agregar un 37,7 % más de agua diariamente a la pila de lavado para controlar y mantener el nivel de agua de la pila a una altura de 20 cm del extremo superior. Esto corresponde un punto importante de mejora, ya que mensualmente se estima una

pérdida de agua aproximadamente de 363 000 L. Del cual el 14 % se debe a la pérdida por el impacto del agua en las paredes de la pila y frutas, 30 % es consumido por una fuga de agua que presenta la pila de lavado y el 56 % restante se debe al agua que arrastran las piñas durante este proceso.

4.1.3. Consumo de Insumos

Respecto al consumo de insumos se tiene en unidades de kilogramos y litros, donde los resultados obtenidos se dividen en combustible, insumos postcosecha y personal. Inicialmente, se muestra en la Figura 22 la comparación de resultados de consumo en litros de diésel y gasolina.

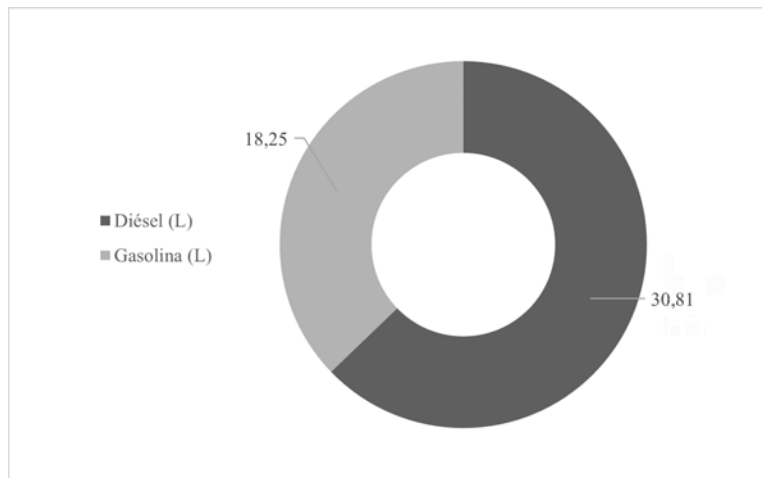


Figura 22. Consumos de combustible diario por montacarga

De esta forma, los resultados indican que el consumo de diésel, con una desviación de 9,35 L; es mayor que el consumo de gasolina, con una desviación de 4,06 L; como se había determinado en la sección de consumo energético. Donde se muestra que el diésel es el que se consume más por motivos de mayor uso, mayor espacio de desplazamiento y mayores cargas de trabajo. De igual forma, es importante recalcar que el consumo de combustible por hora es mayor para el diésel en comparación con el de gasolina, con un valor de 4,06 L/h y 2,79 L/h, respectivamente.

Por otra parte se tienen los resultados de los insumos postcosecha en la Figura 23.

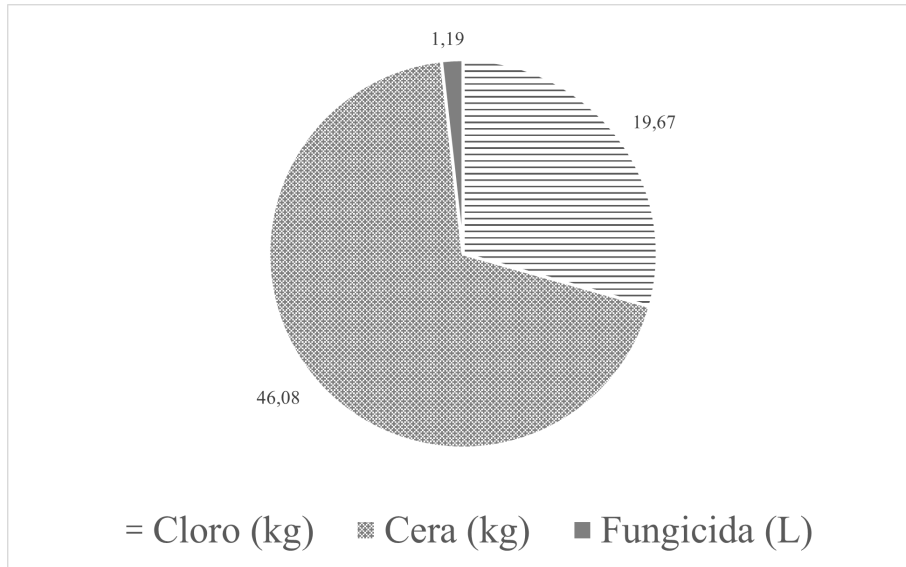


Figura 23. Consumos de insumos promedio diarios utilizados en el proceso de lavado y postcosecha

Donde se tiene que, de los 3 insumos, el que se consume en mayor volumen diariamente es la cera, de segundo lugar es el cloro que se utiliza en la pila de lavado y en último lugar está el fungicida, el cual es de esperar ya que, a pesar de aplicarse varias soluciones diarias, la dosis de fungicida es en cantidades pequeñas (ml).

Por otra parte, la cantidad de cajas empacadas estimadas diariamente se muestran en la Figura 24, cuyo dato se obtuvo para 12 diferentes días con un promedio de 17 829 cajas y una desviación estándar de 3 239 cajas.



Figura 24. Cantidad de cajas empacadas diariamente

A partir de esta Figura se observa que la cantidad de cajas utilizadas diariamente para empacar no es lineal y depende de muchos factores externos al proceso principalmente como la demanda de los clientes. Además, este resultado se puede relacionar con los datos de la Figura 8, específicamente con los datos de piña de salida, lo cual presentan un comportamiento similar como es de esperarse.

Finalmente, los resultados de la cantidad de personal por turno de trabajo se muestran en la Figura 25, en donde se determina que las tareas que requieren mayor consumo humano en la planta son el área de empaque y armado de tarimas, para un total de 11 y 12 operarios, respectivamente.

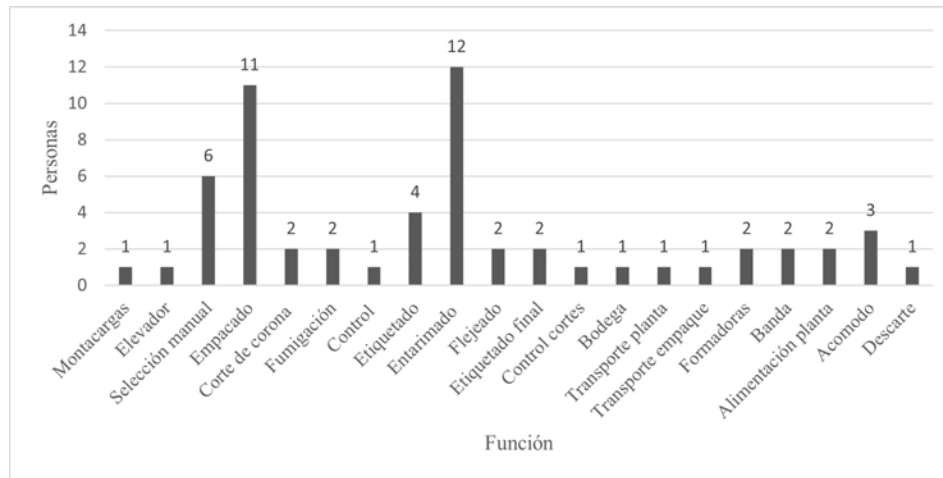


Figura 25. Cantidad de recurso humano requerido en cada una de las etapas para cumplir con las labores requeridas.

En último lugar la mayoría de las tareas requieren de 1 a 3 operarios solamente para controlar el proceso, esto debido a la ayuda del sistema automatizado de calibración y selección de fruta. En total se tiene que en un turno se requieren un equipo de personal de aproximadamente 58 personas, incluyendo los encargados del control de planta y de bodega. En la Tabla 7 se detallan las funciones de cada uno de estos colaboradores mencionados. Además, en la Figura 26 se muestra la cantidad de horas de trabajo diarias de ambos turnos, incluyendo tiempos de alimentación de 0,75 h por turno.

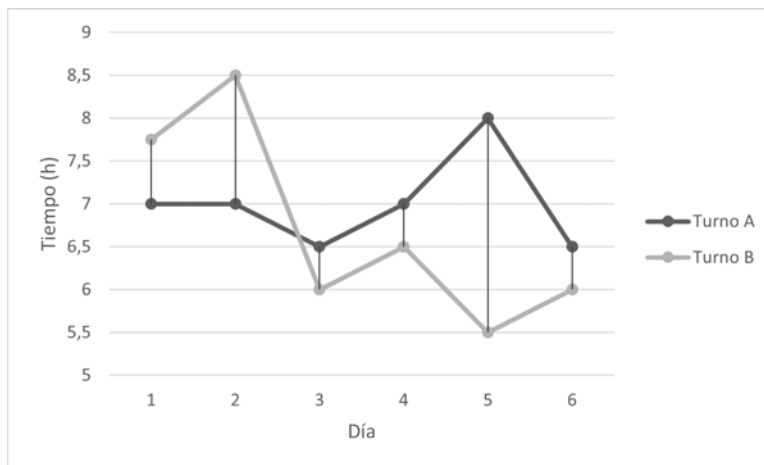


Figura 26. Cantidad de horas trabajadas por turno en 6 días de medición.

De esta forma, se logra observar la gran variación del tiempo de trabajo en ambos turnos, ya que este dato depende de la cantidad de lotes que se cosechen y la efectividad de los colaboradores, además de tiempos muertos por fallos técnicos o cuellos de botella que se presenten.

Tabla 7. Cantidad de personal y tareas realizadas por operación

Etapa	Operación	Cantidad de personal por turno	Observación
1	Montacargas	1	Normalmente en algunas horas del día trabajan 2 montacarguistas, sin embargo, este no se toma en cuenta porque es una de las personas que está trabajando en el entarimado.
	Elevador	1	Se encarga de controlar el elevador, verificar el desplazamiento de la piña en la pila de lavado y controlar el nivel del agua de la pila.
3	Selección manual	6	Se consideran 2 alineando piñas, y 4 seleccionando, entre estas se encuentra la persona encargada del control de los insumos (cloro, cera, fungicida)
7	Empacado	11	Se considera 1 persona por cada banda de salida de empaque, en este caso las 11 bandas estén en funcionamiento.
	Corte de corona	2	Este dato es variable, ya que no todos los días se empacan piñas sin corona, pero en dado caso, normalmente son 2 personas las que están a cargo.
	Fumigación	2	Al igual que el corte de coronas de esta etapa, es un valor variable y siempre la misma cantidad de personas que están a cargo de esta labor están cortando corona, además, es importante mencionar que este personal no es extra, ya que se toman personas de otras labores para ayudar en esto específicamente por un tiempo determinado.
	Control	1	Es una persona que está a cargo de programar la calibradora y revisar que todo se esté ejecutando de la mejor forma.
8	Etiquetado	4	Son 2 personas en cada una de las 2 líneas de empaque aplicando las etiquetas en las cajas empacadas.
	Entarimado	12	Son 6 personas en cada una de las 2 líneas de empaque armando las tarimas a partir de las cajas empacadas.
	Flejeado	2	Son 2 personas en cada una de las 2 líneas de empaque poniendo los esquineros y sostén final de las tarimas armadas.
	Etiquetado final	2	Son 2 personas en cada una de las líneas de empaque encargadas de agregar la codificación final de cada tarima.
	Control cortes	1	Es la persona que lleva el control de cantidad de producto empacado y avisa cuando se debe cambiar de cliente.
	Bodega	1	Esta labor es un operario que controla el suministro de materiales de empaque y entarimado.
9	Transporte planta	1	La persona encargada de manejar el montacarga con las tarimas de producto empacado.
10	Transporte empaque	1	La persona encargada de manejar el montacarga con el cartón para las cajas de empaque.
	Formadoras	2	Son los operarios que alimentan las máquinas de formadoras de cajas con cartón.
	Banda	2	Se encuentran recibiendo las cajas formadas y colocandolas en la banda de transporte, además, aplican silicón en los pliegues de las cajas en caso de algún fallo en la máquina formadora.
	Alimentación planta	2	Estos operarios alimentan con cajas la planta con las cajas necesarias y de los clientes solicitados.
	Acomodo	3	Las personas están pendientes de las cajas que se van produciendo y acomodan estas en bodega, en espera o en la parte de salida para que se alimente la planta.
11	Descarte	1	En esta área normalmente solamente se tiene una persona propiamente de la empresa trabajando y controlando, ya que las demás personas son operarios de las empresas respectivas que se llevan el producto de rechazo.

4.1.4. Índices de desempeño

Los datos obtenidos de índices de desempeño se dividieron en 3 gráficos con el fin de separar las unidades en las que se presentan (kWh/t, L/t, kg/t). Para para los gráficos se obtuvieron valores promedio por conjunto de equipos: bandas, bombas, iluminación, evaporadores, formadoras de cajas y montacargas. En la Figura 27 se muestra el índice de desempeño con unidades de kWh por tonelada.

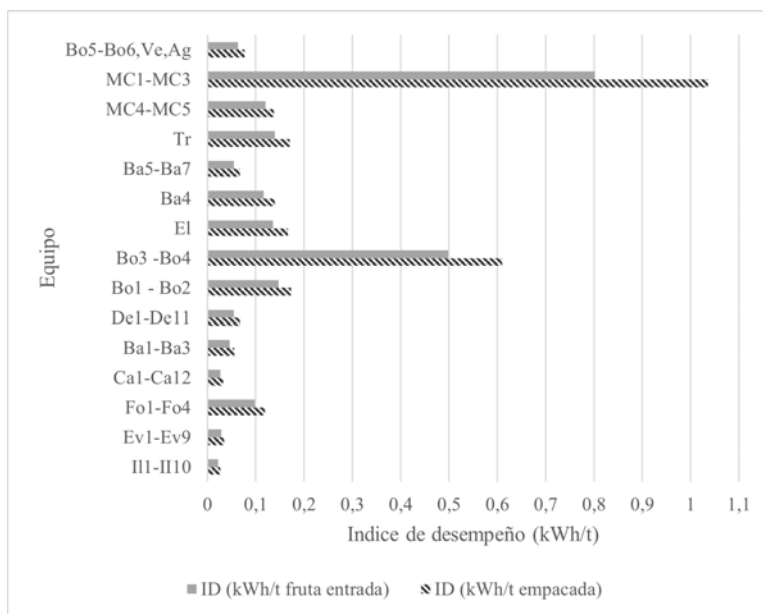


Figura 27. Valores de índices de desempeño de consumo energético por tonelada de fruta de entrada y empacada.

Además, se divide en 2 resultados diferentes los cuales son los datos de consumo energético por tonelada de fruta que entra en planta en el área de recibo, como los datos de consumo energético por tonelada de fruta que sale de planta empacada. De esta forma, el equipo que muestra mayor índice de desempeño corresponde a los montacargas de combustión interna con valor promedio de 1 kWh/t empacada y 0,8 kWh/t fruta entrada. Seguidamente, como segundo lugar se encuentran las bombas de lavado con un valor promedio de 0,6 kWh/t empacada y 0,5 kWh/t fruta entrada. Un dato importante de resaltar es el de la trituradora de coronas, el cual tiene un valor de 0,2 kWh/t empacada siendo igual al valor de índice de desempeño del elevador del área de recibo y las bombas de los pozos de agua.

Por otra parte, se tiene en la Figura 28 el resultado de los índices de desempeño en unidades de litros por tonelada de fruta de entrada y toneladas de fruta empacada. En este grupo corresponde a los valores de cantidad de agua en los procesos en estudio, así como la cantidad de fungicida y combustibles (diésel y gasolina).

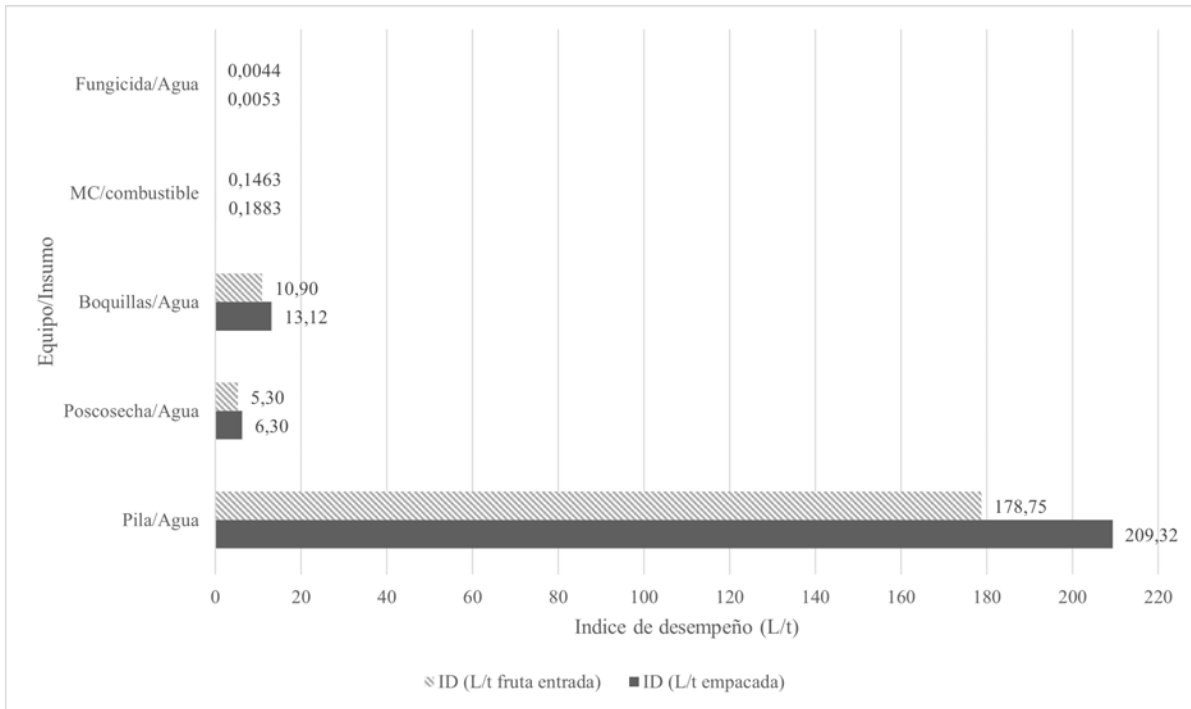


Figura 28. Valores de índices de desempeño de consumo en litros por tonelada de fruta de entrada y empacada.

En este caso, se tiene, como es de esperarse que el mayor consumo de en litros por tonelada de fruta corresponda al recurso hídrico y específicamente en el área de la pila de lavado, con valores de 209 L/t de fruta empacada y 178 L/t de fruta de entrada, cuyo dato incluye también la cantidad de agua utilizada en el control de llenado de la pila. En esta misma figura se observa el valor de consumo de fungicida mínimo con un dato de 0,004 L/t de fruta de entrada y 0,005 L/t de fruta empacada. Finalmente, se tiene el resultado del consumo en kilogramos por tonelada de fruta de entrada y empacada, lo cual corresponde a los insumos de cloro, usado en la pila de lavado, y de cera (Figura 29).

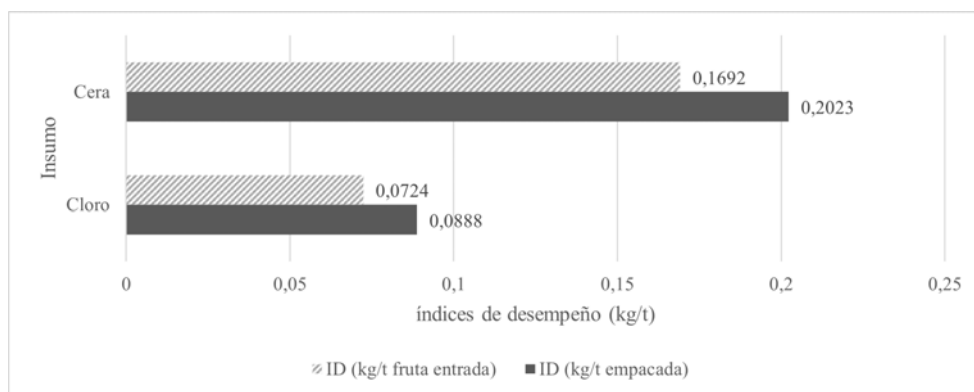


Figura 29. Valores de índices de desempeño de consumo en kilogramos por tonelada de fruta de entrada y empacada.

De esta se obtuvo para la cera un valor de 0,2 kg/t empacada y para el cloro 0,09 kg/t empacada,

ya que el cloro se utiliza en menor dosis diaria que la cera.

Finalmente, en la Tabla 8 se muestra un resumen de los valores de índices de desempeño de forma general por cada insumo estudiado, de esta manera, para el caso de energía incluye tanto la parte eléctrica, como el consumo de los combustibles de los montacargas en unidades de consumo energético (kWh).

Tabla 8. Resumen de índices de desempeño por insumo

Insumo	ID salida	ID entrada	Unidad
Cajas	79,93	66,44	cajas/t
Agua	48,95	41,75	L/t
Cera	0,2023	0,1692	kg/t
Diésel	0,1182	0,0907	L/t
Energía	0,1177	0,0957	kWh/t
Cloro	0,0888	0,0724	kg/t
Electricidad	0,0876	0,0725	kWh/t
Gasolina	0,0701	0,0556	L/t
Fungicida	0,0053	0,0044	L/t

4.2. Planteamiento de mejoras encontradas

Se identificó una serie de mejoras en todo el proceso de empaque, las cuales se mencionan en la Tabla 9 según la etapa del proceso en la que se encontraron.

Tabla 9. Resumen de mejoras encontradas por etapa

Etapa	Equipo	Problema	Insumo
Recibo	Montacargas de combustión interna	Sistema de gestión no sigue estrategia estandarizada	Combustible
Lavado	Pila de lavado	Fuga en infraestructura	Agua
	Válvulas elevador	Sincronización de funcionamiento	Agua
Selección 1	Bandas transportadoras	Diseño de banda	Electricidad
Selección 2	Boquillas limpiadoras calibradora	Tiempo de uso	Agua
Distribución	Montacargas eléctricos	Sistema de carga no sigue lo recomendado	Electricidad
Rechazo	Bandas transportadoras	Diseño	Electricidad
Cajas	Montacargas de combustión interna	Consumo de combustible	Combustible

4.2.1. Recibo

De esta forma, primeramente se identificó en el área de recibo 2 montacargas (Toyota MC048, CAT MC040) que descargan los bins de piña fresca. Los cuales no siguen un sistema de gestión de descarga para cumplir las funciones de transporte de bins con fruta, acomodo, colocación en elevador y descarga de bins vacíos del elevador. Todas estas acciones realizadas no tienen un orden, ya que se ejecutan conforme sea necesario realizar; esto causa trayectorias innecesarias de los montacargas y tiempos de espera como se muestra en la Figura 11, lo que afecta directamente

el consumo de combustible.

Tabla 10. Diagrama de identificación de acciones de montacargas área de recibo

Diagrama							
Objetivo: Acomodar bines			BL: Bin lleno	○	Operación		
Operación: Descargar, cargar, movilizar bines de piña fresca			BV: Bin vacío	→	Desplazamiento		
Lugar: Upala Agrícola			C: camión	□	Espera		
Operarios:			Es: espera				
Fecha:			El: elevador				
Montacarga #1 toyota	○	→	□	○	→	□	Montacarga #2 cat
Recoger C BL							Espera sin bin
Desplazar BL							Recoger C BL
Colocar Es BL							
Desplazar sin bin							
Recoger C BL							Desplazar BL
Espera BL							Colocar Es BL
Desplazar BL							Desplazar sin bin
Colocar Es BL							
Desplazar sin bin							
Recoger EI BV							Recoger Es BL
Desplazar BV							Desplazar BL
Colocar Es BV							Colocar EI BL
Desplazar sin bin							Desplazar sin bin
Recoger C BL							Espera sin bin
Desplazar BL							Desplazar sin bin
Colocar Es BL							Recoger C BL
Desplazar sin bin							Desplazar BL
Recoger C BL							Colocar Es BL
							Desplazar sin bin
Desplazar BL							Recoger C BL
Colocar Es BL							
Desplazar sin bin							Desplazar BL
							Colocar Es BL
Recoger Es BL							Desplazar sin bin
Desplazar BL							Recoger EI BV
Colocar EI BL							Desplazar BV
Desplazar sin bin							Colocar Es BV
Recoger C BL							Desplazar sin bin
Desplazar BL							Espera sin bin
Colocar Es BL							Desplazar sin bin
Desplazar sin bin							Recoger C BL
Recoger C BL							Desplazar BL
Desplazar BL							Colocar Es BL
Colocar Es BL							Desplazar sin bin
Desplazar sin bin							Recoger C BL
							Desplazar BL

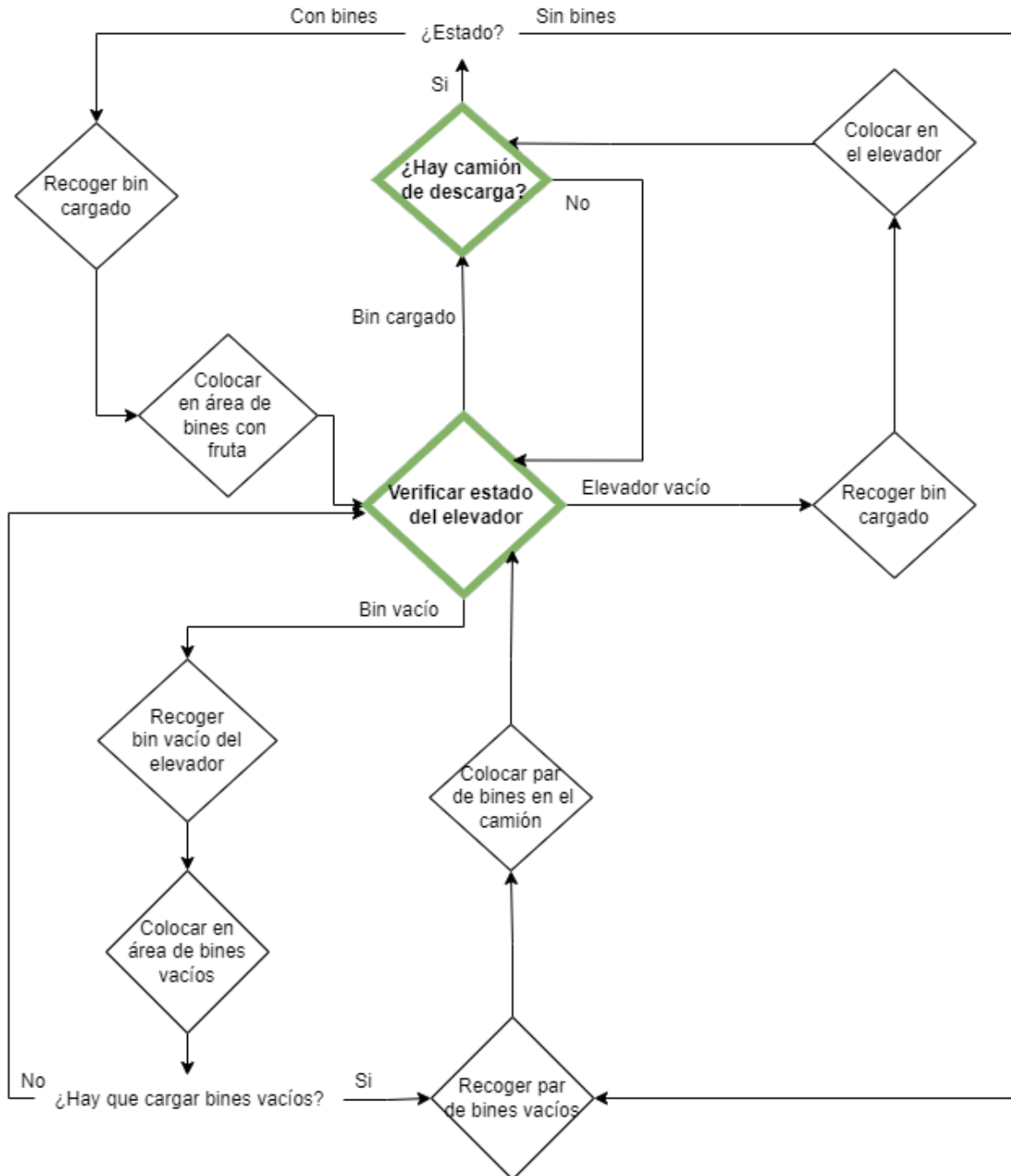


Figura 30. Diagrama propuesto para la operación del montacargas de recibo

A partir de la Figura 30 se ilustró las diferentes acciones, en donde la función principal de este proceso es la de alimentar el elevador con los bins llenos, ya que se debe estar colocando bins con fruta constantemente. De esta forma, se parte entonces de verificar el estado el elevador, esta puede tener 3 opciones: tener un bin cargado con piña, que no haya ningún bin o que haya un bin sin fruta. En el caso de que el elevador esté vacío, el montacarga procede a recoger un bin cargado y colocarlo en el elevador, seguidamente revisa si existe un camión de descarga de campo y verifica el estado: vacío o con bins cargados. Si hay bins cargados, se debe recoger uno de los

bines y colocarlo en el área designada. Pero si el camión está vacío se debe recoger bines vacíos y devolverlos al camión de campo. A finalizar cada una de estas acciones se debe estar verificando el estado del elevador. Mientras el elevador esté cargado con un bin se verifica si hay un camión para descargar, pero en caso de que no haya disponible algún camión entonces se procede a esperar que el elevador suba con un bin vacío, para proceder a recoger el bin vacío y colocarlo en el área asignada. Finalmente, si hay un camión después de este proceso se recogen un par de bines vacíos para cargar el camión y si no, se procede a verificar nuevamente el estado del elevador. En la Figura 31 se pueden ver las áreas mencionadas.



(a) Área de recibo de bines desde campo



(b) Área de espera de bines cargados de fruta

Figura 31. Área de desplazamiento de montacargas de recibo de fruta

En esta figura en la imagen (a) se presenta a la izquierda donde se colocan los bines vacíos, atrás de estos se ubica el camión que viene de campo y el montacarga descargando. En el centro se muestra el elevador y a la derecha el área donde se colocan los bines llenos de fruta en espera de colocarlos en el elevador, en la imagen (b) se puede apreciar mejor esta área cuando está vacía.

La acción secundaria principal que se mencionó anteriormente como la descarga de bines de

los camiones de campo, no siempre se encuentra disponible. Incluso la descarga de los camiones se realiza 1 o 2 horas antes de iniciar el turno de planta, luego durante el día continúan llegando con menos constancia. De esta manera, se debe incluir el atraso que presenta el procedimiento de registro de lote y finca de cada camión que llega, el cual es entregado al montacarguista para que haga el traslado del documento a la persona encargada del elevador.

De esta manera, respecto a la documentación se propone una dinámica estándar en donde el chofer del camión entregue directamente el registro al operario del elevador para evitar atrasos de los montacargas e incluso desplazamientos innecesarios, ya que el fin de estos equipos o de los operarios no es trasladar documentos. Paralelamente, se propuso empezar el proceso de descarga por medio de los montacargas; para esto se debe utilizar 2 montacargas simultáneamente sólo en caso de que haya demanda de camiones de campo por descargar y al mismo tiempo se esté alimentando el elevador de planta. Pero en caso contrario con un sólo montacarga se cumplen las funciones esperadas. Este cambio, representaría un ahorro de 21 % del combustible (diésel) total consumido en esta etapa, tomando en cuenta una reducción de 3 horas por parte del montacarga de refuerzo, ya que, actualmente el total de tiempo de uso requerido por los montacargas para cumplir con las funciones diarias es de 14,5 h, donde 8,25 h corresponden al montacarga principal y 6,25 h al montacarga de refuerzo, contando tiempos de espera.

4.2.2. *Lavado*

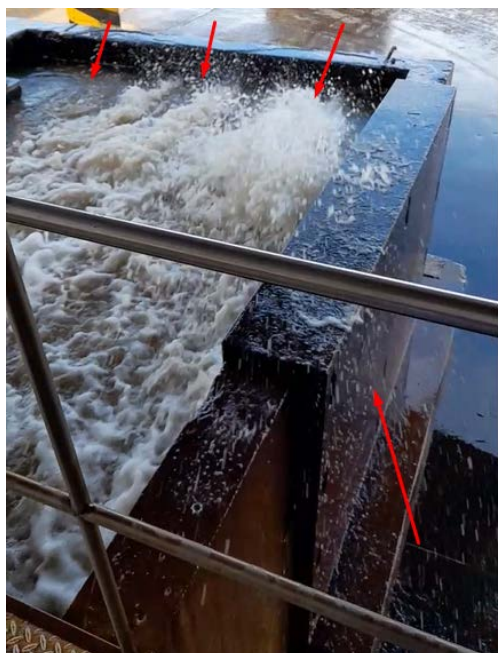
Seguidamente, en la etapa de lavado de fruta fresca se tiene problemas con la infraestructura de la pila, ya que anteriormente se hizo una modificación de distribución de las bandas transportadoras. Esto causó que la ubicación anterior de las bandas sea actualmente una fuga (Figura 32) por donde se pierde un 30 % del total de agua de relleno de control de la pila diario (Tabla 19), lo cual representa aproximadamente 4 m³ por día que equivalen a 1460 m³ al año. De esta manera, se propone realizar el mantenimiento respectivo de este espacio, en donde además del ahorro de agua, el uso de la bomba del pozo consumiría aproximadamente 1105 kWh menos al año, es decir un 8 % menos de lo que consume este equipo actualmente bombeando el agua total requerida por la pila de lavado (volumen base + relleno de control de pérdidas) (Tabla 19).



Figura 32. Fuga de agua en infraestructura de la pila de lavado

Además, esta fuga de agua queda directamente en las bandas transportadoras de rechazo. De este modo, al estar en constante humedad con cloro promueve corrosión y por ende menos vida útil del equipo (Figura 32).

En esta misma etapa, se identifica otro factor que causa pérdida de agua continuamente. Este punto de mejora se ubica en las válvulas con función de arrastre de piña ubicadas en la pared de la pila al lado del elevador (Figura 33 (a)). El problema que se presenta es el impacto del agua de estas válvulas con las paredes de los bins y elevador, ya que se expulsa agua afuera de la pila. Esto genera un factor negativo en desperdicio y también afecta directamente la superficie en la que se desplazan los montacargas del área de recibo, causando mayor esfuerzo de parte de estos equipos, ya que existe más patinaje (Figura 33 (b)).



(a) Boquillas en el área del elevador de la pila de lavado de fruta



(b) Superficie húmeda en el desplazamiento de montacargas

Figura 33. Resultados del impacto constante del agua de las boquillas en el elevador

Debido a este problema se propone sincronizar las válvulas con el elevador, de modo que, cuando este se encuentre justamente al nivel de las válvulas, estas se cierren para evitar el impacto entre estos. Además, para los laterales de la pila una solución a corto plazo es reducir el nivel máximo de agua en la pila 20 cm más para evitar pérdida de agua por causa del impacto que causan la presión en las válvulas sobre las piñas cuando están siendo arrastradas al área de selección, como se muestra en la Figura 34. Además, esto representa un ahorro de agua adicional de aproximadamente 10 % sobre el agua estimada de relleno para el control de pérdidas en la pila de lavado (Tabla 19).

Esto es posible, ya que según información brindada por la empresa para que las frutas floten y logren salir del bin al sumergir en agua deben tener como mínimo 1,0 m de altura de agua sobre

la superficie del bin. De esta manera, donde ingresa el bin tiene una profundidad máxima de 2,4 m (Figura 18), a este valor se le descuenta la altura del bin de 0,8 m y los 0,2 m del nivel del agua que actualmente se aplica, quedando como resultado una altura de 1,4 m de agua sobre el bin. Entonces si se reduce el nivel de agua del control 0,2 m más, quedaría 1,2 m restantes para que la piña logre flotar.



Figura 34. Laterales de la pila por donde se desborda agua

Debido al problema de este impacto del agua de las boquillas se pierde aproximadamente un 14 % del total del agua que se debe rellenar diariamente (Tabla 19), lo que representa un total de $2 m^3$. De esta forma, con las mejoras estaría reduciendo el consumo de agua total de la pila en un 4 %, además, en términos energéticos se estaría reduciendo el consumo el mismo porcentaje respecto al total de energía consumida en la bomba del pozo; mientras que, al aplicar en conjunto la reducción del nivel del agua y sincronización de boquillas se reduciría un 14 % del total de agua consumida diariamente bombeada por este mismo equipo.

4.2.3. Selección 1

Por otra parte, en el área de selección 1 se identifica un problema en la distribución de espacio en las bandas transportadoras, debido a que por motivos de remodelación de las instalaciones en donde se decidió desplazar la línea de empaque causó un desfase en la conexión entre la etapa de lavado y la de selección 1. La solución planteada en esta ocasión fue unir estos 2 puntos con 2 bandas transportadoras extras en forma de L, como se muestra en la Figura 35. Sin embargo, cada uno de estos equipos representa un consumo extra de energía eléctrica, de esta manera, se recomienda modificar el diseño de este punto utilizando solamente una banda transportadora diagonal que una los 2 puntos de interés, como se puede apreciar en la Figura 36. Es importante destacar que esto es la solución más rápida y menos invasiva, la otra opción sería el rediseño de la pila, lo que conllevaría mayor inversión y un paro de la planta. De esta forma se podría reducir a 1 sola banda desde el área de lavado hasta selección 2.



Figura 35. Diseño actual de bandas transportadoras distribuidas en L

A partir de la figura anterior se observa la adaptación de las bandas transportadoras en la sección marcada en rojo. Además, se muestra en color anaranjado que en ambas de estas bandas están sobredimensionadas para el espacio disponible. De esta forma, a partir de la siguiente Figura se muestra la comparación del diseño actual en comparación con el diseño propuesto con sólo 1 banda en lugar de 2.

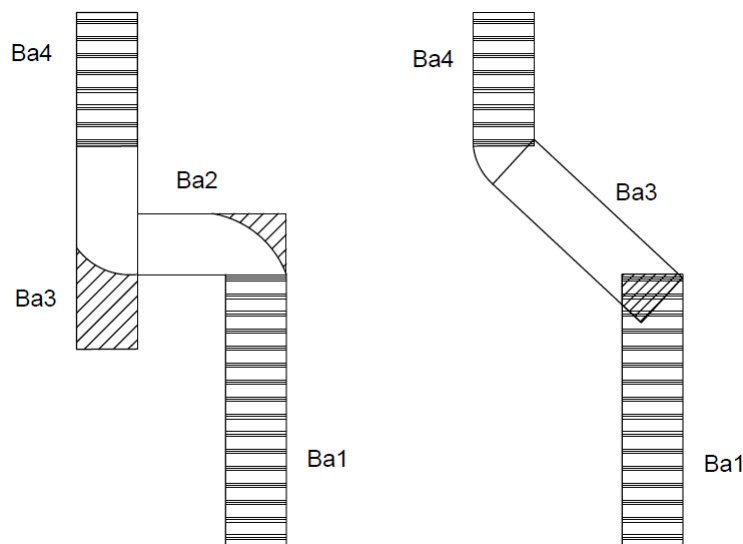


Figura 36. Comparación de diseño actual en L vs el propuesto en diagonal

Dado el caso de las dimensiones disponibles de espacio, se determina que al colocar esta banda en forma diagonal realizaría la misma función que la ubicación de 2 bandas en posición L. Sin embargo, se eliminaría el consumo eléctrico de una banda transportadora y se hace una mejor distribución de espacio. Actualmente, cada banda posee un motor de 3 HP, en donde al eliminar una de estas bandas se estaría ahorrando anualmente un aproximado de 2280 kWh, lo que equivale a un 1% del total de consumo de las operaciones del proceso de planta seleccionadas en este proyecto.

4.2.4. Selección 2

En la etapa correspondiente a la selección 2 se encontró deficiencia en el uso adecuado de las boquillas encargadas de la limpieza de los platos que cargan las piñas en la calibradora. Esto debido a que en horarios de comida, tiempos de descanso, cambios de turno o durante los espacios en los que se detiene el proceso para mantenimiento, se identificó que estas 4 válvulas continúan funcionando constantemente. El problema se da principalmente porque la activación de este sistema es manual y no se encuentra a simple vista (Figura 37), además, no se presta atención ya que parece ser insignificante su consumo de agua.

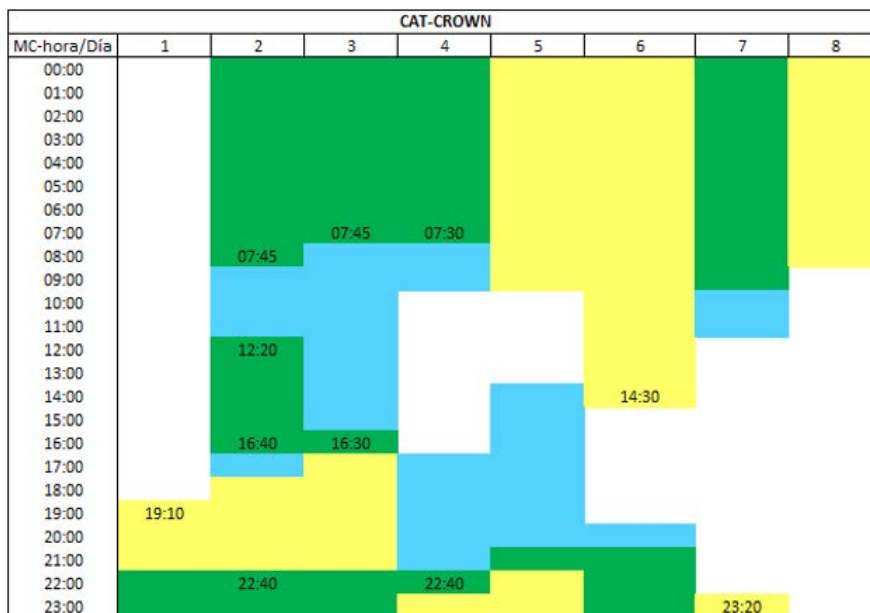


Figura 37. Boquillas limpiadoras de calibradora

Para este caso, se propone primeramente estar pendiente de las válvulas y apagarlas en los tiempos que no esté funcionando la calibradora. Además, otra solución sería automatizar el proceso con una válvula solenoide que corte el paso del agua cuando la calibradora se detenga. Por otra parte, se hace la propuesta de realizar un sistema de recirculación en esta función para reducir el impacto del uso de estas boquillas en el consumo de agua. Esta mejora representa un ahorro anual de aproximadamente $326 m^3$ y 262 kWh, lo que representa un ahorro hídrico y energético de 31 % y 1 %, respectivamente, con base al consumo total de esta operación de limpieza de calibradora.

4.2.5. Distribución

Otro problema identificado se trata de la gestión de la carga de los montacargas eléctricos del área de distribución de tarimas de fruta empacada, los cuales no cumplen con un sistema ordenado para la carga de estos (Figura 38). Estos equipos requieren cumplir con un ciclo de carga de 8 horas de carga, 8 horas de reposo y 8 horas de uso, esto con el fin de aumentar la vida útil de las baterías, cuyo dato se indica que es 1500 ciclos trabajando a condiciones de temperatura de 30°C y cumpliendo los ciclos de carga de 8 h, sin embargo, no se recomienda usar el equipo hasta el 0 % de uso de batería, este debe ser 80 % aproximadamente, lo que representan de 6,5 a 7 h (Arboleda y Munera, 2020).



Nota: Amarillo: Montacarga CAT, Celeste: Montacarga CROWN, Verde: Montacarga CAT y CROWN

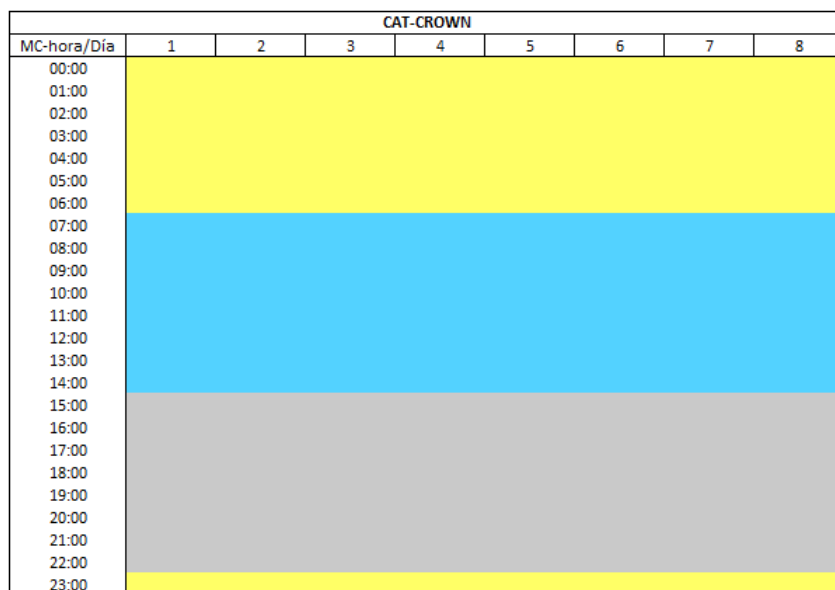
Figura 38. Tiempos de carga actuales registrados en un período de 8 días

En la Figura anterior se evidencia que los tiempos de carga no cumplen una secuencia determinada, además, en los días de medición solamente se utilizaron 2 baterías de las 3 que están disponibles. De esta forma, el color amarillo representa el montacarga de marca CAT y el color celeste el de marca CROWN, mientras que el color verde es cuando ambos se están cargando. En consecuencia, se hizo una propuesta de horario para la carga (Tabla 12) en donde se cumplen los ciclos de carga recomendados.

Tabla 12. Horario de carga eléctrica propuesto

	Carga	Descanso	Uso
Recomendado	8	8	8
Hora	23 a 7	7 a 15	15 a 23
MC4.1 (CAT)	Carga	Descanso	Uso
MC4.2 (CAT)	Descanso	Uso	Carga
MC5 (CROWN)	Uso	Carga	Descanso

Seguidamente se representó entonces cómo se manejaría la carga eléctrica según el horario propuesto (Figura 39).



Nota: Amarillo: Montacarga CAT batería 1, Gris: Montacarga CAT batería 2, Celeste: Montacarga CROWN

Figura 39. Tiempos de carga propuesto registrados en un período de 8 días

Este horario propuesto considera el uso de las 3 baterías disponibles, además toma en cuenta que se tenga una jornada continua de trabajo, lo cual se puede dar principalmente en temporadas altas de producción de piña entre mayo y agosto, en caso de las temporadas de menor producción se puede utilizar solamente 2 montacargas. En este esquema, no se considera las preferencias de uso de parte de los operarios por temas de ergonomía, ya que este fue un factor que se mencionó de parte de los choferes de estos equipos. Por otra parte, no se recomienda el cambio de tipo de batería de Plomo Ácido a Ión Litio por temas de estabilidad del equipo por el peso de la batería, ya que al tener batería de Plomo Ácido tiene una masa de 1100 kg y permite una elevación de cargas a una altura aproximada de 9 metros, situación que no sería posible con una batería de Ion Litio (Arboleda y Munera, 2020).

4.2.6. Descarte

Por otro lado, en la etapa de descarte de fruta se encuentran 2 mejoras en las bandas transportadoras en diferentes puntos de este proceso. La primera se ubica en las bandas pequeñas del área interna de la planta de empaque (Figura 40). Estas presentan un problema de diseño porque no se aprovecha el total de su longitud, sin embargo, el problema principal es la utilización de un motor de 3 HP donde el desplazamiento es relativamente pequeño, la banda transportadora podría operar con un motor de menor potencia.



Figura 40. Bandas pequeñas de descarte

Se propone la opción de sustitución de las mismas por una rampa de acero inoxidable en donde por gravedad descieran de la banda de origen a la otra banda de destino, ya que la única función de estas bandas es redirigir las frutas de rechazo. Esta propuesta reduciría en más de 1 % de consumo energético con base al total de consumo de las operaciones en estudio.

En esta misma línea, se encuentra en el área de la pila de lavado 2 bandas transportadoras encargadas de movilizar las piñas descartadas en esta etapa por densidad. Sin embargo, después de varias observaciones se detecta que esta no cumple totalmente su función principal, ya que por el diseño de la banda, el peso de la fruta y debido a la inclinación que presenta, así como el factor que se encuentra sumergida (ver Apéndice 5: Figura 56), es difícil expulsar las piñas fuera del agua, estas tienden a resbalarse constantemente o quedar encrustadas en los espacios entre los extremos de la banda y las paredes de la pila (Figura 41).



Figura 41. Piñas quedan flotando por largos períodos de tiempo sin avanzar

De esta forma, se proponen varias mejoras, una de estas es mantener estas bandas apagadas y sólo encender al final del turno de trabajo por un tiempo de 1 h para que cargue correctamente todas las piñas que se hayan acumulado. Ya que según experiencia de los operarios esta carga

mejor cuando hay más cantidad de piña en el fondo. Además, para esta propuesta también existe la opción de utilizar sensores en la banda transportadora que detecten un mínimo de peso para que la banda empiece a funcionar. Por otro lado, como segunda opción o mejora simultánea a la anterior, se recomienda utilizar otro tipo de banda transportadora donde las piñas queden enganchadas y no se resbalen, estas bandas pueden ser las de tipo cilindros de plástico que se utilizan en el área de lavado hasta selección 1 o las que tienen aletas, preferiblemente porosas para evitar transporte de agua, como las usadas en esta misma empresa en el área de carga de camiones de fruta de descarte, como se muestran en la Figura 42.



Figura 42. Opciones de bandas de transporte para mejor efectividad en la etapa de descarte

De esta forma, con algunas de estas opciones de mejora, a pesar de no mostrar una reducción de consumos directamente, facilitaría la efectividad del proceso y por ende se aprovecharía de una mejor forma la energía usada. En este mismo punto, se tiene una segunda banda, la cual conecta la banda sumergida con la banda principal con destino al área de corte de coronas y descarte (Figura 43). De tal modo, debido a la geometría del lugar donde se encuentra se propone sustituir esta banda transportadora por una rampa que facilite la caída de las piñas de un punto a otro, preferiblemente de acero inoxidable para reducir la fuerza de fricción con la fruta.



Figura 43. Segunda banda de descarte de la etapa lavado de fruta

La banda de la Figura anterior al sustituir por una rampa causaría un impacto entre las frutas, entonces se podría contrarrestar con el uso de espumas. De esta forma, al eliminar una banda de 24,69 kWh se determinó que el ahorro de consumo energético con esta modificación sería de 2 % aproximadamente del total consumido de los equipos en estudio. Además, en el proceso de descarte es relevante reducir al máximo los consumos, porque este proceso no es el principal de la planta de empaque, es decir, el que genera los ingresos principales en la empresa. De esta manera, las mejoras de uso de recursos en esta área son significativas independientemente de si es un valor alto o bajo.

4.2.7. *Cajas*

En la última etapa que se realizó la inspección de mejoras fue en el área de materiales de empaque, en donde la principal mejora propuesta es el uso de montacargas eléctricos en lugar de montacargas de combustión interna para la movilización del cartón. En donde energéticamente, la diferencia de consumos se reduciría hasta un 93 %, donde pasaría de consumirse 170 kWh diarios con el uso de Gasolina como combustible a un consumo de 12 kWh con el uso de una fuente eléctrica para la carga del montacarga.

4.2.8. *Generales*

Se consideró además, el cambio de los motores actuales por motores de alta eficiencia, los cuales pueden representar un 20 % más eficiencia, de esta forma, se obtuvo un ahorro de 73 kWh diarios y 26 109 kWh anuales en energía. Para esto, se tomó en cuenta los motores de todas las bandas del proceso (Ba1-Ba7, Ca1-Ca12 y De1-De11).

Finalmente, de forma general se encontraron oportunidades de mejora por parte del sistema de mantenimiento, específicamente en el orden y disponibilidad de recursos de información por parte de este departamento. De esta manera, se recomienda la actualización del etiquetado de equipos y zona de manejo de motores con la identificación correcta para evitar confusiones entre los funcionarios de la empresa, además, por temas de seguridad es un factor importante (ver Apéndice 6: Figura 57 y 58). En esta misma línea, se propone mantener un sistema de nomenclatura estándar en toda la empresa y fácil de identificar. Finalmente, se considera necesario confeccionar un plano eléctrico de las instalaciones y que este cuente con la misma nomenclatura propuesta anteriormente, incluso es necesario agregar un croquis con la identificación de los equipos en el área de paneles de control (ver Apéndice 6: Figura 59). Todo esto beneficia a la empresa para temas de reducción de tiempos en identificación de averías y en la aplicación de nuevos sistemas de mejoras, implementación de otras fuentes de energía renovables o certificaciones futuras.

Es importante destacar que a pesar de que son ahorros pequeños acercan cada vez más la actividad de la planta a la sostenibilidad ambiental, ya que reduce el impacto de la proceso empaque de piña.

4.3. Sistema de gestión energética

El Sistema de Gestión Energética a partir de la norma ISO 50001 se basa en el ciclo de mejora continua denominado PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar), esta metodología es igual al implementado por la norma ISO 14001, certificación que actualmente la empresa tiene implementada. De esta manera, la cultura organizativa y políticas no se analizaron porque ya se tiene implementado previamente. Entonces, la propuesta de la norma energética se dirigió exclusivamente a la etapa de Planificar del ciclo de mejora continua.

Primeramente, se definió el alcance, para esto se tomó en cuenta la planta de empaque de piña, desde el área de recibo hasta entarimado, incluyendo las operaciones de descarte y formación de cajas de empaque. De esta forma, se inició con la identificación de los usos de la energía y demás información que afecte directamente los consumos energéticos internos, es decir, dentro del alcance. En este sentido, los tipos de energía disponibles y utilizados en este sector seleccionado de la empresa son energía eléctrica y combustibles. Seguidamente, la norma solicita la disponibilidad del diagrama de las instalaciones de planta y del proceso de empaque, los cuales se observan en la Figura 4 y 3, respectivamente. Donde a partir de este último se dividió en 5 bloques generales para un mejor análisis considerando cada operación, como se muestra en la Figura 44.

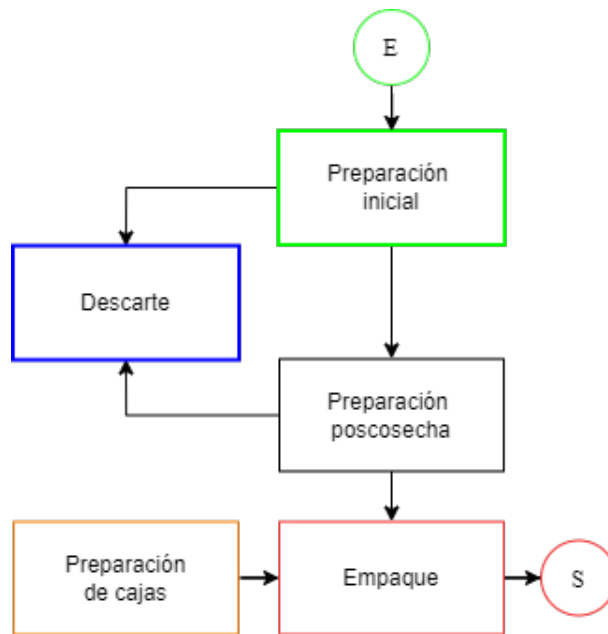


Figura 44. División de proceso en bloques

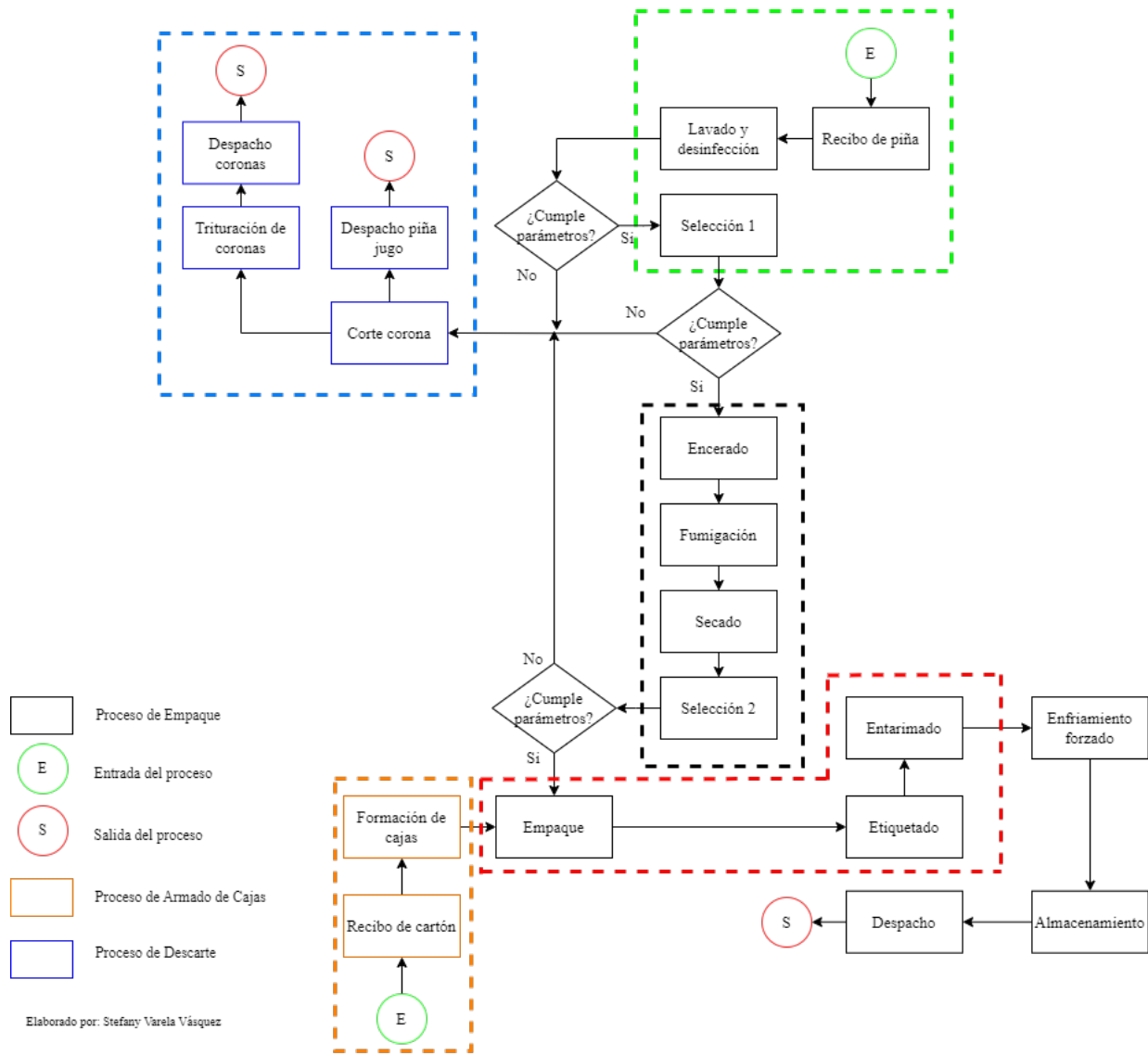


Figura 45. Diagrama de flujo dividido en bloques para análisis de Norma ISO 50001

La Figura 44 muestra la división en la que se realizó el cálculo de los consumos energéticos de cada uno y así determinar cuál presenta un consumo mayor al criterio delimitado, en este caso $50\% < x$. En la Figura 45 se muestra el origen de este diagrama en bloques, así como las etapas que comprende cada bloque. De esta manera, en la Tabla 13 se desglosan los valores de consumo energético total de cada uno de los bloques.

Tabla 13. Consumo energético por bloques

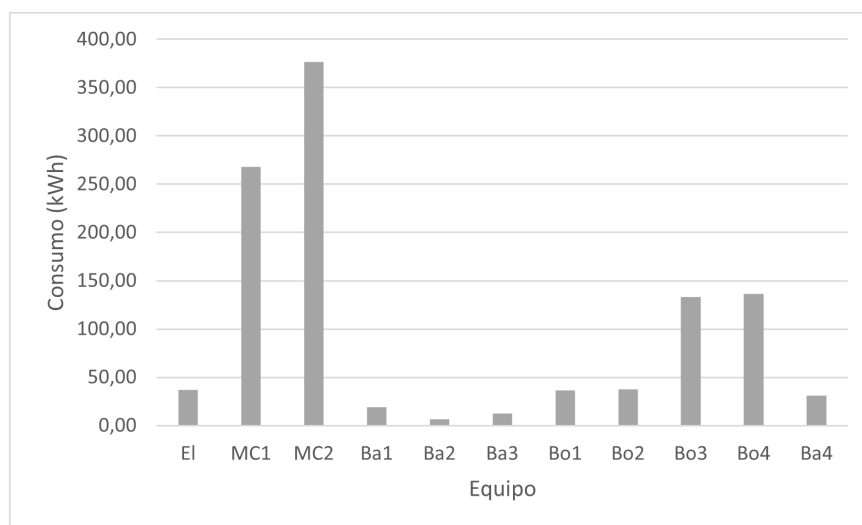
Bloque	Combustible (kWh)	Electricidad (kWh)	Total (kWh)
Preparación inicial	644	450	1094
Preparación poscosecha	0	154	154
Empaque	0	91	91
Descarte	0	203	203
Preparación de cajas	0	290	290

En esta línea se identifica que, el bloque que representa consumo energético mayor al 50 % corresponde al bloque de preparación inicial, este se denomina un USE (Uso Significativo de la Energía). Lo cual significa que, a partir de esta selección se continuó aplicando el análisis solamente al USE definido. Entonces, se determinaron los equipos involucrados en el USE, así como el personal de esta área, cuyos resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Equipos y personal requerido en el bloque de Preparación Inicial

Equipo	Cantidad	Energía	Personal
Montacargas	2	Combustible	2
Bombas de pozos	2	Eléctrica	0
Bombas de recirculación	2	Eléctrica	0
Elevador de bins	1	Eléctrica	1
Bandas transportadoras	4	Eléctrica	6
Total	11	-	9

De esta Tabla se obtiene un total de 11 equipos y 9 operarios, además, en la Figura 46 se observa la distribución de consumos de los equipos correspondientes a este bloque.

**Figura 46.** Distribución de consumos de equipos en USE

Consecuentemente, se obtuvo que los equipos con mayor consumo son los montacargas de combustión interna y las bombas de recirculación de agua en la pila, mientras que los que presentan valores menores son las bandas transportadoras. Para un análisis más detallado se obtuvo los consumos porcentuales de cada uno de los equipos involucrados en el USE sobre el consumo total del alcance. Los resultados de estos cálculos se muestran en la Figura 47.

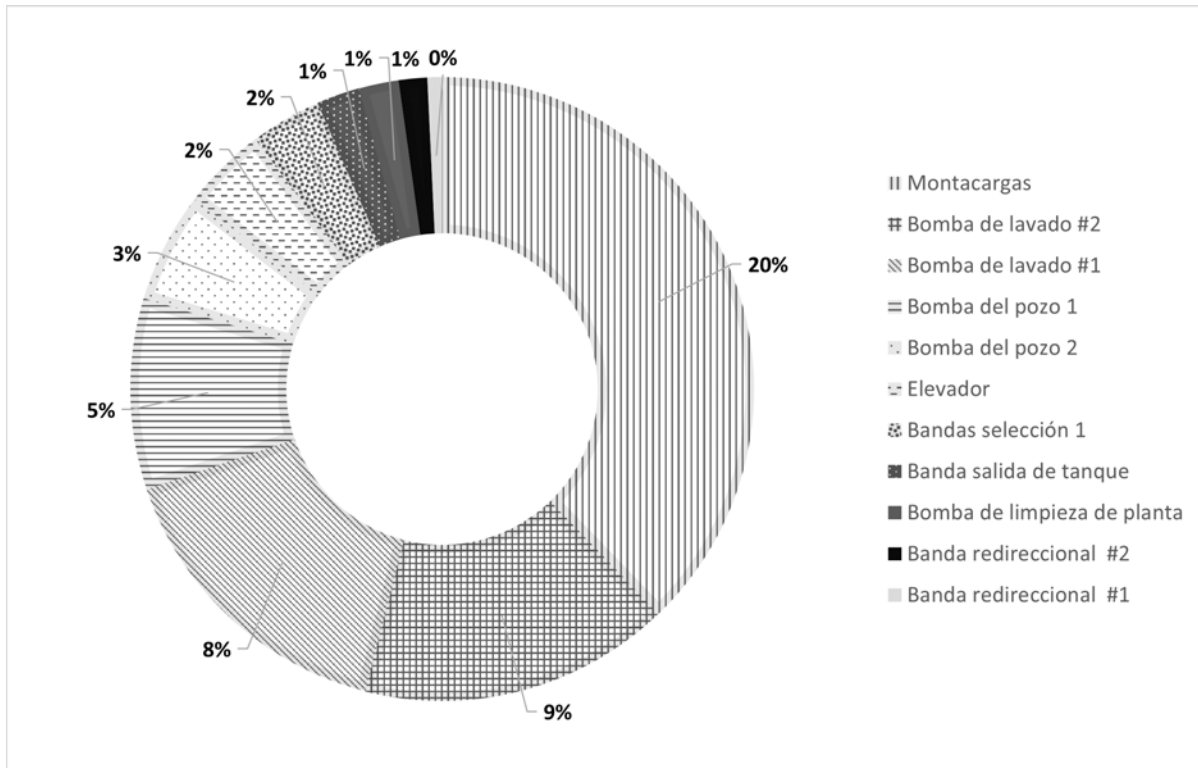


Figura 47. Consumo porcentual sobre el valor total de consumo en el alcance

A partir de los consumos se seleccionó los equipos con mayor potencial de ahorro en el desempeño energético basado en los objetivos de la política sostenible de Upala Agrícola, la cual menciona el compromiso como empresa en protección del ambiente, optimización de recursos, mitigación del cambio climático y protección de la biodiversidad. De esta manera, los montacargas poseen posibilidad de mejora energética que genere un impacto en el ambiente, así como las bombas de extracción de agua de los pozos; estas mejoras se desarrollarán más adelante. Cada uno de estos equipos se tuvieron que evaluar según los criterios de significación mostrados en la Tabla 32 (Apéndice 7). Estos parámetros clasifican según el consumo en unidades de kWh, posibilidad de mejora y dificultad de modificaciones. De esta forma, se mencionan algunas observaciones de los criterios con el fin de delimitar las decisiones que se tomen a partir de estos puntos. En la Tabla 15 se muestran los resultados de esta clasificación, donde 10 representa más importante, 5 intermedio y 1 menos importante.

Tabla 15. Evaluación de equipos según criterios de significación

Equipo	Identificador del uso significativo		
	Peso sobre total E	Posibilidad mejora	Dificultad
Recibo (Re.1)			
Montacargas	10	10	10
Elevador	1	1	1
Lavado y desinfección (La.2)			
Bomba del pozo 1	5	10	10
Bomba del pozo 2	1	10	10
Bomba de lavado #1	5	5	1
Bomba de lavado #2	5	5	1
Bomba de limpieza de planta	1	1	1
Banda salida de tanque	1	1	1
Banda redireccional #1	1	1	5
Banda redireccional #2	1	1	5
Selección manual (Se.3)			
Bandas selección 1	1	1	1

Seguidamente, se determinaron las variables y factores del proceso que afectan el consumo energético de los equipos anteriormente seleccionados como potenciales de ahorro: montacargas y bombas de pozos. De esta manera, los factores estáticos son aquellos cambios en el entorno que no cambian rutinariamente. Por otra parte, las variables relevantes son las condiciones que si suceden rutinariamente, como cambios ambientales, clima, personal y producción. Para el caso de la empresa en estudio, se encontraron 2 variables relevantes, las cuales son el clima y producción de fruta.

La variación en el clima oscila durante todo el año, incluso en un mismo día se pueden presentar cambios que afecten directamente el nivel de suciedad con que llega de campo la fruta. Se planteó la hipótesis de que al cosechar la piña en campo las condiciones del clima ensucian el producto y los bins, de esta manera, el agua de la pila de lavado debe ser cambiada con más regularidad, es decir el consumo energético de la bomba de pozo aumenta o disminuye según corresponda. Por otra parte, según lo indicado en la empresa la producción de piña es un factor que a pesar de ser controlado continúa siendo un producto vivo y la cantidad de piña cosechada aumenta en un período de la semana 18 a la 34 del año debido a la floración natural. Esta variación de producción afecta directamente la cantidad de combustible que requieren los montacargas para desplazar mayor cantidad de bins diariamente.

De esta forma, se continúa con la determinación de compras energéticas, lo cual implicó consultar datos de facturas eléctricas brindadas por la compañía de electricidad que brindan los servicios. En el caso de Upala Agrícola, el ente de servicios de este recurso es el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Las facturas utilizadas fueron del año 2021, en la Figura 48 se muestra la variación de los costos mensuales.

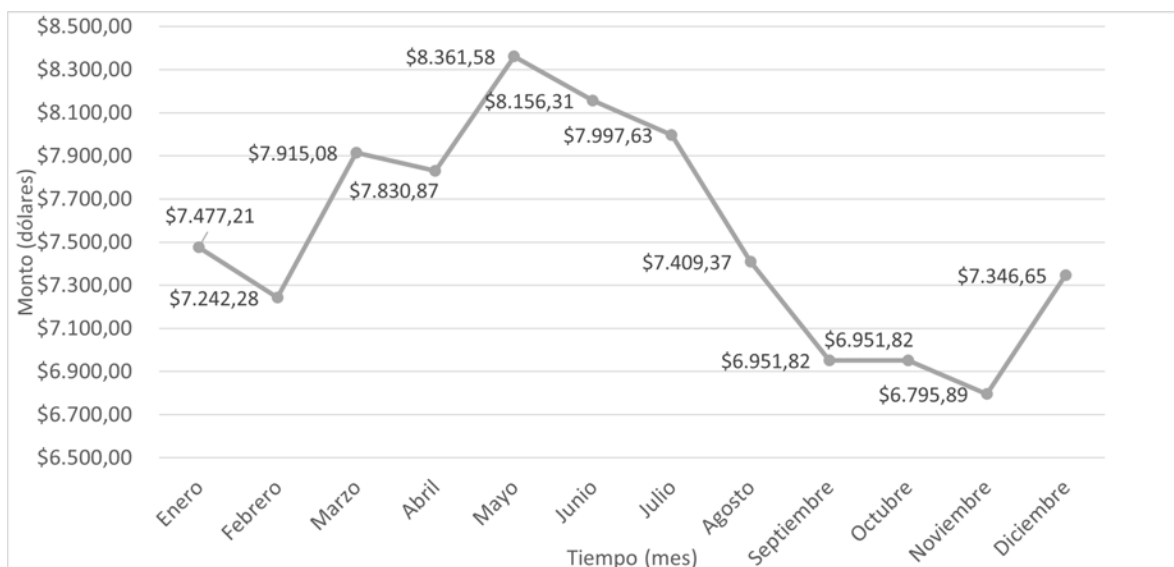


Figura 48. Costo Eléctrico Mensual 2021
(Tipo de cambio ₡610,50)

A partir del gráfico anterior se determinó que el mes con menor cobro fue noviembre, mientras que el mayor fue en mayo. Es importante mencionar que estos valores de facturación corresponden solamente a los rubros de monto de energía y monto por demanda, dejando por fuera los costos de impuestos, alumbrado público y demás que se observan en el Apéndice 7: Figura 61.

Además, del monto total facturado se consideró solo un 32 %, que corresponde al consumo del alcance especificado al inicio de esta sección. Ahora bien, se hizo la comparación de estos datos aplicando la variable relevante: clima. Donde según datos meteorológicos (Apéndice 7: Figura 60) en Upala el mes más seco es marzo y en el que se presentan más precipitaciones es en septiembre. De esta manera, se determinó que en el mes donde menos llueve hay más consumo eléctrico, lo que significa que se rechaza la hipótesis previamente planteada. Además, en el caso de la variable relevante: cosecha, se tiene que los meses con mayor cosecha anual se dan entre el mes de mayo y julio, de esta forma al relacionar con el consumo de combustible diésel se obtienen los resultados en la Figura 49, donde coinciden los datos confirmando la hipótesis.

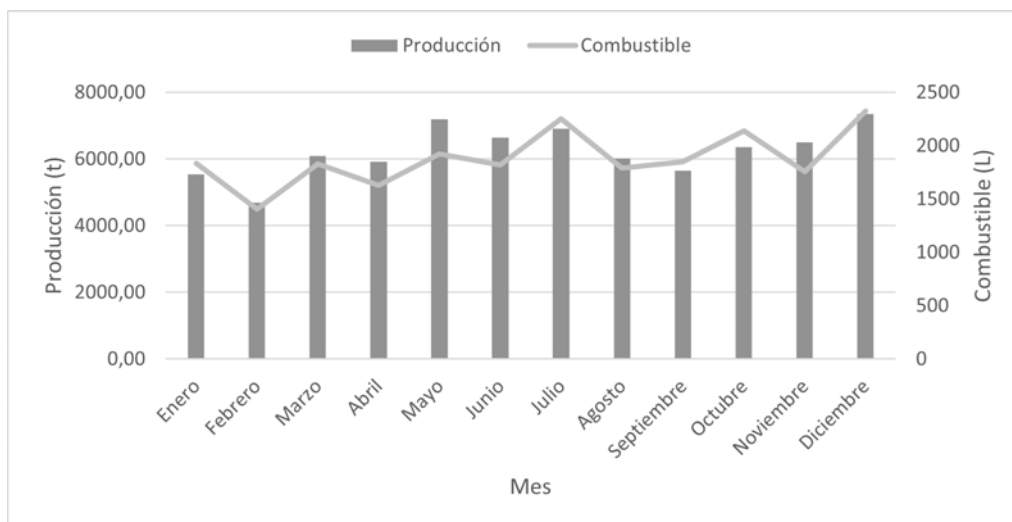


Figura 49. Consumo de combustible mensual en función de variable cosecha

En esta línea, se determinaron los Índices de Desempeño Energético (IDEn) a analizar que afecten en estos equipos del USE seleccionado, de esta forma para los montacargas se calculó en unidades de kWh/t y L/t, es decir consumo energético por cantidad de fruta cosechada y consumo de combustible por cantidad de fruta cosechada, respectivamente, donde se tomó el valor de poder calorífico del diésel de la Tabla 4 para la conversión energética. Además, se tomó valores para ambos montacargas que realizan sus labores en el área de recibo de piña desde campo. Por otra parte, para el caso de las bombas de pozo los IDEn identificados fueron en unidades de kWh/m³ y kWh/t, o consumo energético por litro de agua bombeado y consumo energético por fruta cosechada, respectivamente (Tabla 16).

Tabla 16. Indices de Desempeño Energético promedio

Equipo	IDEn	Valor
MC1	kWh/t	0,7858
	L/t	0,0752
MC2	kWh/t	1,1105
	L/t	0,1062
Bo1	kWh/m ³	0,8258
	kWh/t	0,1456
Bo2	kWh/m ³	0,8443
	kWh/t	0,1489

De esta forma, se detallan las mejoras de desempeño energético propuestas, primeramente, se propuso sustituir los 2 montacargas de combustión interna por montacargas eléctricos para reducir el consumo energético en kWh/t, pero principalmente con el fin de emitir menos emisiones de gases contaminantes al ambiente. Además, se prioriza a corto plazo utilizar el montacarga serie MC044 principalmente y de refuerzo el MC040 o MC048 en última opción, ya que el MC044 presenta mayor eficiencia en uso de combustible, con un valor de 3,54 L/h. Por último, se

recomendó, aplicar las mejoras descritas en la Sección 4.2.

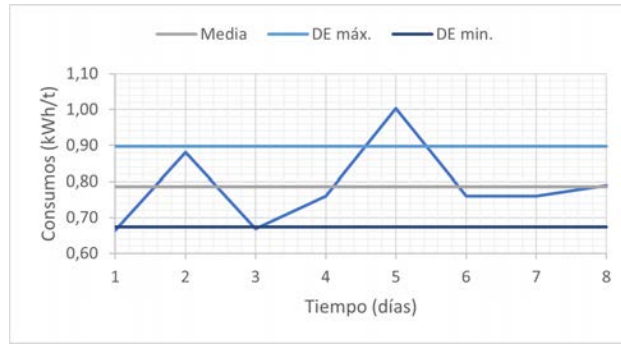
Por otro lado, se recomendó utilizar solamente la bomba del pozo #1 porque es la más eficiente en unidades kWh/m³ y kWh/t. Además, se propuso aplicar las mejoras planteadas en la Sección 4.2 para reducir desperdicio de agua de la pila afectando proporcionalmente el volumen de agua bombeado. Con estas mejoras se enfoca en los compromisos de la empresa mencionados anteriormente en la política de sostenibilidad: protección del ambiente y optimización de recursos. Se estima que estas mejoras tienen un potencial de mejora del 20 % de emisiones de CO₂ en combustible para los montacargas y un 10 % de reducción en consumo. Mientras que, se tiene 20 % de reducción de consumos en electricidad para las bombas, lo cual representa un 10 % de emisiones de CO₂ menos.

Para el plan de medición se recomienda realizar nuevas mediciones cada 6 meses para verificar los consumos según el índice de desempeño establecido, es positivo si este disminuye, mientras que si se mantiene o aumenta se debe verificar la razón de este comportamiento y aplicar correcciones respectivas. Se recomienda además que para el caso de los montacargas realizar mediciones de cuantas toneladas de producto cargan en un día de trabajo cada equipo, ya que los datos brindados hacen referencia a una misma cantidad de fruta por cada montacarga, lo cual realmente uno de estos trabaja más que el otro montacarga durante un día.

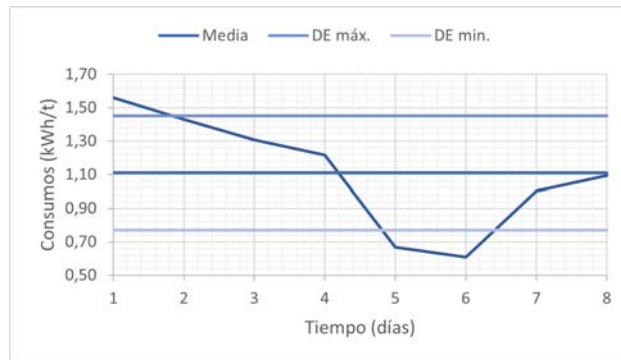
Para medir los consumos que se medirán cada 6 meses se detalla el procedimiento que se debe seguir, con el fin de que sea una medición estándar y se pueda realizar la comparación entre medidas. En el consumo energético de las bombas, se prioriza medir solamente la bomba del pozo #1. Este dato se obtiene con un multímetro directamente del panel de control del motor del equipo, tomando los valores de Tensión Eléctrica (V) y Amperaje (A). Se debe realizar 1 medición por día durante 20 días hábiles (lunes a sábado) consecutivos. Finalmente, se hace la relación con el tiempo en horas que se trabajó en cada turno sin tomar en cuenta los tiempos de alimentación de ambos turnos (1,5 h).

En el caso de los montacargas del área de recibo para obtener el indicador, en unidades kWh/t, se deben tomar las mediciones durante 8 días hábiles (lunes a sábado) consecutivos, en donde se debe llenar completamente el tanque de combustible de cada montacarga a una misma hora, anotar el volumen en litros y el dato que brinda el horímetro respectivo. Seguidamente, con este dato se obtiene la cantidad de combustible diario y posteriormente a partir del poder calorífico del diésel se hace la conversión energética para obtener la información en unidades de kilowatts hora. Con respecto a la producción diaria, se toman los datos de los registros de la empresa.

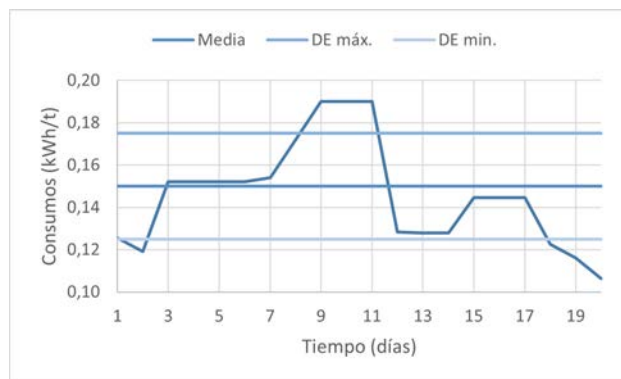
Finalmente, se traza las Línea Base Energética (LBEn) para cada IDEn para los días de medición respectivos (Figura 3), en donde a partir de esta LBEn se definen los datos actuales de desempeño energético, con el fin de lograr en las próximas inspecciones comparaciones y definir si se está cumpliendo con el objetivo de cada mejora, ya sea reducción de consumo eléctrico o de combustible. Estas LBEn se muestran en la Figura 50.



(a) LBE Montacarga 1 (MC1)



(b) LBE Montacarga 2 (MC2)



(c) LBE Bomba 1 (Bo1)

Figura 50. Gráficos de Línea Base Energética (LBE) para cada equipo seleccionado como USE

De esta forma, en la Figura anterior se detallan los resultados de las LBE de los equipos seleccionados como USE. En donde, se toma en cuenta el plan de acción establecido y priorización de mejoras, seleccionando solamente la Bomba del pozo #1 porque es la que presentó consumos energéticos menores respecto a la Bomba del pozo #2, entonces es la que se debe analizar en las siguientes mediciones que se realicen de control de mejora continua que se estableció.

Al aplicar la certificación de esta norma energética la empresa cuenta con beneficios de control de consumos energéticos, mejora continua en los procesos, reconocimiento y prestigio ante otras empresas, así como ahorros energéticos que se traducen en menor costo en facturas eléctricas. Ade-

más, en Costa Rica se brinda el beneficio de un 15 % a 25 % menos en la facturación a empresas que cuenten con la certificación energética ISO 50001 (Castro, s.f.).

4.4. Análisis de costos en mejoras planteadas

Los beneficios económicos de las mejoras planteadas se detallan en este capítulo, así como la inversión requerida en caso de implementar algunos de los cambios en infraestructura y equipos. De esta manera, se inicia con las mejoras de la etapa de lavado, en donde a pesar de que se genera un ahorro de agua, la empresa trabaja con pozos para abastecer estas operaciones, de esta manera económicamente no genera un impacto significativo, sin embargo, toda el agua que se utiliza debe ser bombeada para extraerse del pozo respectivo. En este caso, el análisis económico hídrico se enfoca en el consumo eléctrico de la bomba del pozo. Además, se calculó costos de mejoras en bandas transportadoras y montacargas.

Se toman los valores de costos promedio de consumo por kilowatt hora y demanda del año 2021 brindados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) según las facturas facilitadas por la empresa (Ver ejemplo en Apéndice 8: Figura 62). También los horarios establecidos por esta institución para consumos en período punta, valle y nocturno se detallan en el Apéndice 8: Tabla 33. Además, cabe resaltar que el consumo energético total de las operaciones seleccionadas para esta investigación, omitiendo la etapa de enfriamiento forzado y almacenamiento, corresponde a un 32 % del consumo total reportado en la facturación mensual de la empresa.

Para el consumo hídrico, a pesar de no ser tomado en cuenta en el análisis de inversión, se obtuvo un estimado en costo y ahorro en litros de agua bajo el supuesto de que la empresa si requiera pagar este servicio. De esta manera, a partir de los datos brindados por el ARESEP (ARESEP, 2022) sobre las tarifas de costo por metro cúbico de agua consumido a nivel empresarial, se obtuvo los resultados de la Tabla 17.

Tabla 17. Costo supuesto de consumo hídrico y ahorros estimados

Cargo fijo mensual	₡2 000,00
Cargo por m^3	₡2 063,00
Total consumo mensual (m^3)	1 430,04
Total costo mensual	₡2 952 172,52
Ahorro por mejoras (m^3)	187,12
Ahorro en factura mensual	₡388 037,64

En la Tabla 17 se muestra primeramente el valor de cargo fijo mensual base al cual se realiza la sumatoria del cargo por metro cúbico consumido. En este caso, el costo por metro cúbico corresponde a empresas que consumen un volumen mayor a 121 m^3 mensual. De esta forma, se obtuvo el volumen total de consumo mensual calculado en este estudio, tomando en cuenta consumos de agua en la pila de lavado, tratamiento postcosecha y limpieza de la calibradora por medio de las boquillas. Este consumo le costaría a la empresa mensualmente ₡2 952 172,52. Además, en el caso de aplicar las mejoras establecidas anteriormente para la reducción del

consumo de este recurso, la planta empacadora ahorraría mensualmente un total de ₡388 037,64.

4.4.1. Ahorros anuales por mejora aplicada

4.4.1.1 Pila de Lavado

Primeramente, para el área de lavado existen 3 mejoras planteadas, las cuales afectan directamente el consumo energético de la bomba de cada uno de los pozos. Para este análisis se toma en cuenta solamente uno de los pozos, este es el pozo 2 (Bo2), ya que es el que cuenta con una potencia mayor de 10,384 kWh. Entonces, se tiene que el consumo total de pérdida de agua diario es de 12 m³ (Tabla 6: Relleno), de los cuales se estima que 14 % de este valor se debe al impacto del agua con las piñas y los bines en el elevador (Figuras 33 y 34), 30 % a la fuga en la pila presente por cambios de diseño (Figura 32) y el 56 % restante es debido a la cantidad de agua que se adhiere a las piñas al sumergirse en la pila de lavado (ver Apéndice 8: Figura 34). De esta manera, para el ahorro de costos por medio de las mejoras planteadas se toma en cuenta el 44 % de agua que corresponde a un volumen de 5,3 m³ diarios a causa de la fuga de la pila y el impacto de las boquillas, ya que el 56 % que arrastran las piñas no se planteó una mejora en este estudio. Los resultados se desglosan en la Tabla 18.

Tabla 18. Montos ahorrados anualmente al aplicar las mejoras en consumo de agua de la pila

Monto por consumo					
Período	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Consumo (kWh)	Costo por kWh (₡)	Monto (₡)
Punta	9,03	52,76	476,66	53,07	25 294,93
Valle	10,38	52,76	547,82	19,71	10 798,39
Nocturno	9,98	52,76	526,40	12,13	6 383,01
Monto por potencia					
	Período	Potencia (kW)	Costo por kW (₡)	Monto (₡)	
	Punta	9,03	8 610,70	77 797,19	
	Valle	10,38	6 012,10	62 428,45	
	Nocturno	9,98	3 850,89	38 423,36	
Monto total					
	Período	Monto Total (₡)			
	Punta	103 092,12			
	Valle	73 226,85			
	Nocturno	44 806,37			
	Total	221 125,34			

Como se muestra en la Tabla 18 se calculan para los 3 períodos punta, valle y nocturno, en este caso se realizó de esta forma porque el relleno se da durante todo el día en el tiempo de trabajo, lo cual para un día típico, este es de 9:00 am hasta 12:00 mn, incluyendo 2 turnos. De esta manera, a pesar de que este relleno tiene un tiempo aproximado de 0,434 h diarios se calculó dividiendo este tiempo en los 3 escenarios para un total de 0,145 h en cada uno. Donde el monto de este ahorro en un año es de ₡221 125,34 aproximadamente dependiendo en qué período de consumo se necesite

activar los equipos.

4.4.1.2 Boquillas Calibradora

Seguidamente, con el mismo análisis se realizó para el consumo de agua de las boquillas limpiadoras de los platos de la calibradora. Se consideró solamente el ahorro económico en mantener apagadas en horas de recesos de comida o cambios de turno, de esta forma se ahorra anualmente ₡185 505,36 tomando en cuenta los 3 períodos y un tiempo diario de 0,07 h que requiere la bomba del pozo para alimentar las boquillas, con una cantidad de agua ahorrada de 1 m³ diario (Tabla 19).

Tabla 19. Montos ahorrados anualmente al aplicar la mejora en las boquillas de calibradora

Monto por consumo					
Período	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Consumo (kWh)	Costo por kWh (₡)	Monto (₡)
Punta	9,03	8,52	76,94	53,07	4 083,01
Valle	10,38	8,52	88,43	19,71	1 743,03
Nocturno	9,98	8,52	84,97	12,13	1 030,32
Monto por potencia					
	Período	Potencia (kW)	Costo por kW (₡)	Monto (₡)	
	Punta	9,03	8 610,70	77 797,19	
	Valle	10,38	6 012,10	62 428,45	
	Nocturno	9,98	3 850,89	38 423,36	
Monto total					
	Período	Monto Total (₡)			
	Punta	81 880,20			
	Valle	64 171,49			
	Nocturno	39 453,68			
	Total	₡185 505,36			

Además, se calculó el ahorro económico en caso de aplicar las mejoras anteriores en conjunto, lo cual representa un ahorro anual total de ₡228 323,02 aproximadamente. Este aumento de ahorro en el monto se da solamente en el consumo energético, ya que por demanda de potencia es el mismo equipo.

4.4.1.3 Bandas Transportadoras

Por otra parte, se calculó el ahorro económico por parte del consumo energético de las bandas de selección y rechazo, los detalles de estas se desglosan en la Tabla 20

A partir de estos datos, se obtiene los costos de consumo energético en kilowatts hora. En este caso, no es necesario calcular el costo por demanda de potencia, ya que estas mejoras no representan un impacto directo en este factor. Los resultados de ahorros se muestran en la Tabla 21.

Según se muestra en la Tabla anterior al implementar las mejoras en las bandas de transporte se puede ahorrar anualmente ₡472 577,42. En donde se consideró las horas de trabajo de un día típico desde las 9:00 am hasta las 12:00 mn, para un total de 13 horas dejando por fuera 1,5 h de

Tabla 20. Datos de bandas reemplazadas en el proceso

Etapa	Mejora	Insumo	Consumo banda eliminada(kWh)	Potencia (kW)
Selección 1	Eliminación de una banda de transporte	Electricidad	6,34	1,44
Rechazo	Sustitución de bandas pequeñas	Electricidad	14,37	0,46
	Sustitución de banda de la pila	Electricidad	24,69	1,88
Total			45,39	3,78

Tabla 21. Ahorro económico al cambiar bandas de transporte

Período	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Consumo (kWh)	Costo por kWh (¢)	Monto (¢)
Punta	3,29	1551,25	5102,03	53,07	270 751,82
Valle	3,78	2007,50	7588,35	19,71	149 579,03
Nocturno	3,63	1186,25	4308,70	12,13	52 246,57
Total					472 577,42

tiempos de comida en 2 turnos. Finalmente, se obtuvo que en caso de aplicar todas las mejoras de bandas y consumo de agua en conjunto el ahorro anual sería de ¢700 900,44.

4.4.1.4 Montacargas

Seguidamente, se realizó un análisis de costos en combustibles de los montacargas que se utilizan en el área de recibo de bins de campo y en la etapa de armado de cajas para empaque de frutas. De esta forma, se obtiene que al realizar el cambio del montacarga de combustión interna, el cual funciona con gasolina, a un montacarga eléctrico el ahorro en colones es del 39 %. Lo cual diariamente se llega a ahorrar hasta ¢ 8 880, lo que implica un ahorro anual de ¢3 241 200.

Tabla 22. Comparación de montos de consumo de combustible versus energía eléctrica en montacargas

Tipo montacarga	Tiempo (h)	Fuente	Consumo	Costo fuente (¢)	Total (¢)
Combustión	6,63	Combustible	18 L	¢807,00*	14 526,00
Eléctrico	8	Energía	11,44 kWh	12,13	138,72
		Potencia	1,43 kW	3 850,89	5 506,77
Total					5 645,49

*Fuente: RECOPE, 2022, consulta 22/10/2022

Para los datos obtenidos en la Tabla anterior se consideró solamente el consumo de eléctrico en período nocturno, ya que en esta etapa se tendría sólo un montacarga y con un valor medido promedio de uso diario de 6,63 h. De esta manera, se tiene la flexibilidad de seleccionar el período de menor tarifa energética, el cual es la nocturna.

En esta misma línea, para los montacargas de combustión interna del área de recibo se realizó la propuesta de un sistema de gestión controlado que se muestra en la Tabla 23.

Para esta mejora se tiene un 21 % de ahorro de combustible, en este caso diésel, el cual tiene un precio actual de ¢865,00 (RECOPE, 2022), lo cual representa un ahorro anual de hasta ¢3 452 278,83 para un volumen total de 3991,07 L anuales.

Tabla 23. Propuesta de mejora en gestión de Montacargas

Tiempo espera (h)	Día promedio	Tiempo (h)
Actual (h)	MC1	8,25
	MC2	6,25
	Tiempo total actual 2 MC	14,5
Propuesta (h)	Tiempo total propuesto 2 MC	11,5
	MC1	8,25
	MC2	3,25

4.4.1.5 Motores de alta eficiencia

Para la mejora sobre sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia, se obtuvo que, para un día típico con horario de 9:00 am a 12:00 mn, de 2 turnos, sin contar los tiempos de receso y alimentación de 1,5 h diarias. Con una mejora de 20 % de eficiencia en la potencia requerida, se muestra en la Tabla 24 los resultados de ahorro anual de ¢1 996 630,42.

Tabla 24. Ahorro económico anual al cambiar por motores de alta eficiencia

Monto por consumo					
Período	Potencia (kW)	Tiempo (h)	Consumo (kWh)	Costo por kWh (¢)	Monto (¢)
Punta	5,27	120	632,74	¢53,07	¢33 578,02
Valle	6,06	172,5	1045,35	¢19,71	¢20 605,59
Nocturno	5,82	112,5	655,06	¢12,13	¢7 943,18
Monto por potencia					
	Período	Potencia (kW)	Costo por kW (¢)	Monto (¢)	
	Punta	5,27	¢8 610,70	¢45 402,90	
	Valle	6,06	¢6 012,10	¢36 433,33	
	Nocturno	5,82	¢3 850,89	¢22 422,85	
Monto total diario					
				Período	Monto Total (¢)
				Punta	¢78 980,92
				Valle	¢57 038,92
				Nocturno	¢30 366,03
				Total mensual	¢166 385,87
				Total Anual	¢1 996 630,42

Finalmente, en la Tabla 25 se muestra un resumen del monto total ahorrado anual en caso de aplicar todas las mejoras planteadas en conjunto.

De esta forma se llega a obtener anualmente un ahorro de ¢9 391 009,56 con la implementación de los sistemas de mejora planteados. En la siguiente sección se analizó la inversión que se requiere para cumplir con esta mejora planteada en el proceso, así como su factibilidad económica tomando en cuenta el costo de los materiales principalmente.

Tabla 25. Ahorro total de mejoras aplicadas

Equipo	Ahorro	Equivalencia
Pila	¢228 322,89	\$370,35
Boquillas		
Bandas de transporte	¢472 577,42	\$766,55
Montacargas cajas	¢3 241 200,00	\$5 257,42
Motores de alta eficiencia	¢1 996 630,42	\$3 238,65
Montacargas Recibo	¢3 452 278,83	\$5 599,80
Total	¢9 391 009,56	\$15 232,78

4.4.2. Análisis de inversión

En esta sección se realizó una serie de cálculos para determinar los costos de los materiales requeridos en la mejora planteada en conjunto, tomando en cuenta las modificaciones en la pila de lavado, las bandas transportadoras, motores de alta eficiencia y los montacargas de combustión interna. No se tomó en cuenta las demás mejoras mencionadas en la sección de mejoras por que estas no representan gastos económicos directos.

En este sentido se inicia con los detalles de los materiales requeridos y los costos estimados junto con la persona encargada del mantenimiento de la planta. Esta información se encuentra en la Tabla 26.

Tabla 26. Desglose de materiales y equipos requeridos en las mejoras

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Total
Materiales de construcción	2	\$11,27	\$22,54
Láminas Acero Inoxidable	3	\$125,52	\$376,56
Motor de alta eficiencia (3 HP)	30	\$622,87	\$18 686,13
Montacarga eléctrico	1	\$35 000,00	\$35 000,00

Los materiales principales fueron de construcción y láminas de Acero Inoxidable, ya que los demás elementos la empresa posee para mantenimiento, así como el personal del departamento de mantenimiento para estas modificaciones no requiere contratar más operarios. De este modo, como material de construcción se consideran 2 unidades de sacos de cemento para la modificación de la fuga de la pila de lavado (Ferretería EPA, s.f.). Por otra parte se estimó el uso de 3 láminas de Acero Inoxidable AISI 304 de calibre #24 (0,6 mm) y dimensiones 1219,2 x 2438,0 (mm), esto con el fin de realizar las rampas para desplazar piña de rechazo (Carbone Store CR, 2022). Además, los motores de alta eficiencia se consideran 30 unidades a lo largo de todo el proceso, principalmente en las bandas transportadoras. Por último, para el análisis de flujo de caja se agregó la opción de alquilar un montacarga para el área de cajas, el cuál tiene un costo mensual de \$1430 o en caso de realizar la compra de este el monto es de \$35 000.

En la Tabla 27 se desglosan los cálculos realizados para un período de 10 años, tomando en cuenta como ingreso los ahorros referentes a electricidad según las mejoras planteadas. Donde la

inversión es la suma de los materiales de construcción y láminas de Acero Inoxidable lo que da como resultado \$399,10 (Tabla 26). Además, el ahorro de electricidad es la suma de las mejoras en la pila, boquillas y bandas de transporte (Tabla 25) para un total de \$1 136,90.

Tabla 27. Resultados de cálculo de flujo de caja energía eléctrica

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ingresos/Ahorros										
Ahorro de electricidad		\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90
Beneficio Bruto del proyecto		\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90
Beneficio gravable		\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90	\$1 136,90
Impuesto sobre la renta (30 %)		\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07	\$341,07
Beneficio después del ISR		\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83
Flujo de operación		\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83
	Inversiones										
Materiales		\$-399,10									
	Flujo neto										
Flujo neto de operación		\$-399,10	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83	\$795,83
Flujo descontado		\$-399,10	\$692,03	\$601,76	\$523,27	\$455,02	\$395,67	\$344,06	\$299,18	\$260,16	\$226,23
Flujo Acumulado		\$-399,10	\$292,93	\$894,69	\$1 417,96	\$1 872,98	\$2 268,65	\$2 612,71	\$2 911,89	\$3 172,05	\$3 398,28
TIR		199 %									
VAN		\$2 726,98									
Período de recuperación		0,58									
Tasa de descuento		15 %									

*ISR: Impuesto sobre la renta, ISR = 30 %

De esta forma, se obtiene un TIR y un VAN de 199 % y \$2 726,98, respectivamente; este último valor indica que la inversión para las mejoras planteadas es rentable a una tasa de descuento del 15 %, además con un período de recuperación de menos de un año. Por otra parte, se realizan los mismos cálculos, pero considerando el cambio de los 30 motores de alta eficiencia, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de mejoras en motores de alta eficiencia

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ingresos/Ahorros										
Ahorro electricidad		\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65
Ingreso											
Costo variable											
Costo fijo											
Beneficio proyecto		\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65	\$3.238,65
Depreciación equipo		\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00	\$1.890,00
Beneficio gravable		\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65	\$1.348,65
Impuesto sobre la renta		\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60	\$404,60
Beneficio después del ISR		\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06	\$944,06
Flujo de operación		\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06
	Inversiones										
Motores de alta eficiencia		\$-18.900,00									
	Flujo neto										
Flujo neto de operación		\$-18.900,00	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06	\$2.834,06
Método de flujos netos descontados											
Flujo descontado		\$-18.900,00	\$2.464,40	\$2.142,96	\$1.863,44	\$1.620,38	\$1.409,03	\$1.225,24	\$1.065,43	\$926,46	\$805,62
Flujo Acumulado		\$-18.900,00	\$-16.435,60	\$-14.292,65	\$-12.429,21	\$-10.808,83	\$-9.399,80	\$-8.174,56	\$-7.109,13	\$-6.182,67	\$-5.377,05
TIR		8 %									
VAN		\$-22.966,54									
Período de recuperación		No hay									
Tasa de descuento		15 %									

*ISR: Impuesto sobre la renta, ISR = 30 %

De esta forma, los resultados de VAN y TIR indican que este proyecto no es rentable bajo los supuestos planteados, a una tasa de descuento de 15 % a 10 años y con ingresos de ahorros energéticos tomando en cuenta solamente las bandas de transporte. Seguidamente, se realizó el análisis considerando la compra del montacarga eléctrico para el área de cajas en lugar del montacarga actual que funciona con gasolina (Tabla 29).

Tabla 29. Flujo de cajas compra de montacarga

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
					Ingresos/Ahorros							
Ahorro gasolina		\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	
Ingreso												
Costo variable consumo eléctrico		\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	
Costo fijo cambio de batería					\$3.300,00						\$3.300,00	
costo fijo mantenimiento		\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	
Beneficio proyecto		\$4.097,53	\$4.097,53	\$4.097,53	\$797,53	\$4.097,53	\$4.097,53	\$4.097,53	\$797,53	\$4.097,53	\$4.097,53	
Depreciación equipo		\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	\$3.500,00	
Beneficio gravable		\$597,53	\$597,53	\$597,53	\$-2.702,47	\$597,53	\$597,53	\$597,53	\$-2.702,47	\$597,53	\$597,53	
Impuesto sobre la renta		\$179,26	\$179,26	\$179,26	\$-	\$179,26	\$179,26	\$179,26	\$-	\$179,26	\$179,26	
Beneficio después del ISR		\$418,27	\$418,27	\$418,27	\$-2.702,47	\$418,27	\$418,27	\$418,27	\$-2.702,47	\$418,27	\$418,27	
Flujo de operación		\$3.918,27	\$3.918,27	\$3.918,27	\$797,53	\$3.918,27	\$3.918,27	\$3.918,27	\$797,53	\$3.918,27	\$3.918,27	
					Inversiones							
Montacarga eléctrico		\$-35.000,00										
					Flujo neto							
Flujo neto		\$-35.000,00	\$3.918,27	\$3.918,27	\$3.918,27	\$797,53	\$3.918,27	\$3.918,27	\$3.918,27	\$797,53	\$3.918,27	\$3.918,27
Método de flujos netos descontados												
Flujo descontado		\$-35.000,00	\$3.407,19	\$2.962,78	\$2.576,33	\$455,99	\$1.948,07	\$1.693,98	\$1.473,02	\$260,71	\$1.113,82	\$968,54
Flujo Acumulado		\$-35.000,00	\$-31.592,81	\$-28.630,03	\$-26.053,70	\$-25.597,71	\$-23.649,64	\$-21.955,66	\$-20.482,64	\$-20.221,92	\$-19.108,11	\$-18.139,57
TIR		-1%										
VAN		\$-50.773,54										
Período de recuperación		14										
Tasa de descuento		15%										

*ISR: Impuesto sobre la renta, ISR = 30%

En este sentido, en la Tabla 29 se muestra que al comprar el montacarga eléctrico a un precio estimado de \$35 000,00, considerando mantenimiento de 3 % anual, el cambio de batería cada 4 años, y un consumo eléctrico de \$109,89, correspondiente a los 12 kWh de consumo diario calculado en la Sección 4.2.7, además, se consideró una depreciación anual de 10 %, entonces se obtuvo un TIR y VAN negativos. Esto indica que el proyecto no es rentable a una tasa de descuento del 15 %. En contraste, como un escenario, se consideró la opción de alquilar el montacarga eléctrico, los resultados se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Flujo de caja alquiler de montacarga eléctrico

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
					Ingresos/Ahorros							
Ahorro en Gasolina		\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	\$5.257,42	
Ahorro de batería MC					\$3.300,00						\$3.300,00	
Ahorro de Mantenimiento MC		\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	\$1.050,00	
Ingreso												
Costo variable consumo eléctrico		\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	\$109,89	
Costo fijo alquiler MC		\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	\$17.430,00	
Beneficio proyecto		\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	
Depreciación equipo		\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	
Beneficio gravable		\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	
Impuesto sobre la renta		\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-	
Beneficio después del ISR		\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	
Flujo de operación		\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	
					Inversiones							
					Flujo neto							
Flujo neto		\$-	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47	\$-7.932,47	\$-11.232,47	\$-11.232,47
Método de flujos netos descontados												
Flujo descontado		\$-	\$-9.767,36	\$-8.493,36	\$-7.385,53	\$-4.535,41	\$-5.584,52	\$-4.856,11	\$-4.222,70	\$-2.593,14	\$-3.192,97	\$-2.776,49
Flujo Acumulado		\$-	\$-9.767,36	\$-18.260,72	\$-25.646,26	\$-30.181,67	\$-35.766,19	\$-40.622,30	\$-44.845,00	\$-47.438,14	\$-50.631,11	\$-53.407,60
TIR		-										
VAN		\$-46.441,39										
Período de recuperación												
Tasa de descuento		15%										

*ISR: Impuesto sobre la renta, ISR = 30%

Para el caso del montacarga eléctrico alquilado, lo cual implica que el mantenimiento del equipo es manejado por la empresa de alquiler, se obtuvo que el proyecto no es rentable. De esta forma, se considera seleccionar las condiciones planteadas en el escenario anterior para la inversión del proyecto de compra de montacarga tomando en cuenta una proyección mayor a 10 años.

Conclusiones

Se identificó que los equipos con mayor consumo energético en el área estudiada son las bombas de la pila encargadas de la recirculación del agua en la etapa de lavado y desinfección (Bo3, Bo4), las cuales presentaron valores promedio de a 133 kWh y 136 kWh, respectivamente. Además, se identificó 9 equipos más con consumos entre 30 y 42 kWh.

Se presentó un mayor consumo energético por parte de los montacargas de combustión interna en comparación con los eléctricos. Los montacargas de diésel presentaron mayor consumo en unidades de kWh en comparación con los de gasolina.

El índice de desempeño eléctrico de la planta fue de $0,0876 \text{ kWh}/t_{\text{salida}}$, mientras que el desempeño energético total fue de $0,1177 \text{ kWh}/t_{\text{salida}}$.

El volumen de agua diario en proceso de lavado corresponde a 32 155 L más 38 % para relleno. El consumo de agua diario en los procesos de calibración y aplicación de fungicida de las boquillas corresponde respectivamente a 4,1 % y 2,6 % en relación al consumo total. El índice de consumo de agua total de la planta fue de $48,95 \text{ L}/t_{\text{salida}}$.

Respecto a los insumos: cajas, cera, cloro, fungicida, diésel y gasolina; los índices de desempeño fueron respectivamente de $79,93 \text{ cajas}/t_{\text{salida}}$, $0,2023 \text{ kg}/t_{\text{salida}}$, $0,0888 \text{ kg}/t_{\text{salida}}$, $0,0053 \text{ L}/t_{\text{salida}}$, $0,1182 \text{ L}/t_{\text{salida}}$ y $0,0701 \text{ L}/t_{\text{salida}}$.

En la etapa de recibo se planteó la mejora en el sistema de gestión de los montacargas, lo cual se estimó que representa un ahorro de 21 % en el consumo de combustibles al reducir el tiempo de trabajo del montacarga de refuerzo. Además, se propuso el cambio del montacarga del área de cajas de combustión interna por uno eléctrico lo que reduciría un consumo energético de hasta 93 %.

En el caso de los montacargas eléctricos del área de empaque, se realizó la propuesta de un cronograma que mejora la gestión de carga con el fin de aumentar la vida útil de las baterías.

Con respecto al consumo del recurso hídrico, se determinó una serie de mejoras que permiten un ahorro del 12 % del agua empleada en el proceso lavado y 19 % en el proceso de clasificación.

Se recomienda la eliminación la banda de selección Ba2, sustitución por rampas de las bandas de rechazo D3, D4 y D11. Esta recomendación permitiría un ahorro total de 4 % respecto al consumo eléctrico total.

Para el sistema de gestión energética se determinó como Uso Significativo de la Energía (USE) el bloque de preparación inicial (recibo y lavado), donde los equipos que se priorizaron fueron los montacargas de diésel y las bombas de los pozos. Se obtuvo la Línea Base Energética (LBE) con los Índices de Desempeño Energético (IDEn) de $\text{kWh}/t_{\text{entrada}}$ para cada uno de los equipos. Adicionalmente, se propuso como plan de acción el cambio de los montacargas por equipos

eléctricos.

Bajo los supuestos realizados en este análisis, se determinó que la variación climática anual en Upala no es un factor determinante en el consumo eléctrico, ya que este consumo depende de múltiples factores de mercado.

Las mejoras propuestas permiten anualmente ahorros económicos de ¢221 125,34 en lavado, ¢185 505,36 en clasificación, ¢472 577,42 en transporte por bandas, ¢3 241 200 por gasolina en el área de cajas y ¢3 452 278,83 en diésel en el área de recibo; para un ahorro en conjunto de ¢9 391 009,56.

Bajo los supuestos realizados en el análisis de inversión, se determina que la modificación en el tanque de lavado, eliminación de la banda Ba2 y la sustitución de las bandas De3, De4 y D11 es una inversión factible económicamente. Además, se determinó que comprar un montacargas eléctrico para el área de armado de cajas es mejor que su alquiler.

Recomendaciones

Realizar medición de consumos de combustible y tiempos de trabajo en montacargas de combustión interna en el área de recibo considerando mejora en el sistema de gestión de estos equipos.

Calcular datos para la cantidad de piña en unidades de toneladas que maneja cada montacarga individual diariamente.

Considerar preferencia de comodidad de los operarios para uso de montacargas eléctricos y en general para todas las mejoras planteadas.

Verificar especificaciones de tubería de agua y mejoras de diseño en el área de lavado de fruta ya que se observó factores de distancias y alturas innecesarias que pueden causar pérdidas de presión y caudal en esta área.

Debido a los cambios de distribución de espacio e infraestructura de la planta es importante revisar las capacidades de cada uno de los equipos actuales.

En la pila de lavado evaluar modificaciones de diseño de la pila con el fin de evitar el cuello de botella que se presenta en la entrada de fruta al área de selección, un diseño que represente mayor fluidez de la fruta.

Evaluar rediseñar la altura de la pila para facilitar la entrada de producto, disminuir riesgo de daños y disminuir la cantidad de agua.

La iluminación en el área de selección se recomienda evaluar la opción de ajuste de altura de las lámparas, donde se encuentren específicamente en la zona de selección y empaque por cada operario y de esta forma reducir cantidad de lámparas en toda la planta.

Para la aplicación de la norma ISO 50001 se recomienda realizar el mismo procedimiento, pero considerando el área de enfriamiento forzado de fruta y almacenamiento.

Es importante que el área definida como el alcance posea un medidor de consumo de electricidad que considere solamente esta zona.

Analizar la banda transportadora de coronas del área de rechazo para determinar la potencia adecuada de estas bandas que podría requerir potencias menores al motor actual.

Referencias

- Arboleda, D., y Munera, J. C. (2020). Baterías de Ion Litio para montacargas : una perspectiva técnico-económica para el mercado colombiano. (September). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16989.03046>
- ARESEP. (2022). Tarifas vigentes de electricidad. Consultado el 5 de enero de 2023, desde <https://aresep.go.cr/agua-potable/tarifas%20https://aresep.go.cr/electricidad/tarifas>
- Barrientos, O., y Porras, S. (2010). Cadena Productiva De La Piña: Políticas y Acciones.
- CANAPEP. (s.f.). *Perfil Corporativo* (inf. téc.). Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña. Costa Rica. <http://www.corona.co/nuestra-empresa/quienes-somos/perfil-corporativo>
- Carbone Store CR. (2022). LAMINA SATINADA ACERO INOX. 24 (0.6Mm).– Carbone Store CR. Consultado el 2 de noviembre de 2022, desde <https://carbonestore.cr/collections/acero-inoxidable-aluminio-galvanizado/products/lamina-satinada-acero-inox-24-0-6mm-1>

- Carvajal, C. (2013). *CLASIFICACIÓN TÉCNICA Y EVALUACIÓN DE POSIBLES MÉTODOS PARA LA DISPOSICIÓN DE LA CERA PARA RECUBRIMIENTO QUE SOBRA DURANTE LA PREPARACIÓN DE LA PIÑA PARA EXPORTACIÓN* (Tesis doctoral). Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/10.1515/9783110968002.189>
- Castro, J. (s.f.). Empresas pueden optar por rebajo de un 15 a 25 % en tarifas eléctricas si se certifican bajo norma ISO 50001. Consultado el 5 de enero de 2023, desde <https://www.larepublica.net/noticia/empresas-pueden-optar-por-rebajo-de-un-15-a-25-en-tarifas-electricas-si-se-certifican-bajo-norma-iso-50001>
- Cedar Lake Ventures, I. (2022). El clima en Upala, el tiempo por mes, temperatura promedio (Costa Rica) - Weather Spark. Consultado el 23 de octubre de 2022, desde <https://es.weatherspark.com/y/14901/Clima-promedio-en-Upala-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Chaves, R. (2017). *Enfoque Integral del Proceso de Enfriamiento con Aire Forzado para Piña Fresca de Exportación (Ananas comosus)* (Tesis doctoral). Universidad de Costa Rica.
- CNUCED. (2015). *Piña, Perfil de INFOCOMM* (N.º 2). https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM_cp09_Pineapple_es.pdf
- Cruz, L., y Gandón, J. (2011). Determinación de los Índices de Consumo Energético en una Planta de Productos Lácteos. *Ingeniería Energética*, 24(1), 9 a la 15-15.
- de Laire, M. (2013). *Guía de Implementación de Sistema de gestión de la Energía Basada en ISO 50001* (inf. téc.). Agencia Nacional de Eficiencia Energética. Chile.
- Diez, O. A., y Cruz, C. (2011). Optimización energética para la producción simultánea de azúcar y alcohol en Tucumán , R . Argentina. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 88(2), 27-40.

- Duek, A., y Fasciolo, G. (2014). Uso industrial del agua en Mendoza , Argentina : coeficientes para la industria alimenticia. *Tecnologías y Ciencias del Agua*, 5, 51-62.
- Enríquez, G. (2015). “Automatización de fumigación y desinfección para el proceso de empaquetado de piña en la Empresa .^AGROEDEN Cía. Ltda. (Tesis doctoral). Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Ferretería EPA. (s.f.). Cemento Holcim saco de 50 kilogramos | Ferretería EPA. Consultado el 2 de noviembre de 2022, desde <https://cr.epaenlinea.com/cemento-holcim-saco-de-50-kilogramos.html>
- Fontana, G. (2011). COUPLING OF A PHASED SOLAR CONCENTRATOR AS AN ENERGY SOURCE FOR THE INDUSTRIALIZATION OF THE TROPICAL FRUIT PRODUCT. *Negotium*, 19(7), 45-78.
- Ingwersen, W. W. (2012). Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Rica. *Journal of Cleaner Production*, 35, 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.035>
- La República. (s.f.). Upala Agrícola. <https://www.larepublica.net/noticia/upala-agricola>
- Li Bonilla, F. (2011). Modelo de valoración de la gestión productiva de la piña, para su certificación. *Revista Nacional de Administración*, 2(2), 129-144. <https://doi.org/10.22458/rna.v2i2.376>
- Llanes, E. (2009). Comportamiento de los índices de consumo energético en la industria arrocera en la provincia cubana de Granma. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1), 76-81.
- Monday Olah, O., y Tete Okon, E. (2022). Factors Affecting Pineapple Production in Central Agricultural Zone of Cross River State, Nigeria. *American Journal of Environmental and Resource Economics*, 7(1), 8. <https://doi.org/10.11648/j.ajere.20220701.12>

- Nogués, F. S., García-Galindo, D., Rezeau, A., y Renovables, E. (2010). *Energía de la biomasa, vol II* (Vol. 2). <https://elibro-net.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr/es/ereader/sibdi/44859?page=395>
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Consultado el 10 de junio de 2021, desde <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Quesada, J. (2018). *Estudio de factibilidad ambiental, técnico y financiero para la colocación de sistemas fotovoltaicos en las Plantas empacadoras, pertenecientes a las subsidiarias de Dole en Costa Rica, bajo la modalidad de Leasing Operativo, año 2017*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional.
- RECOPE. (2022). Precios Vigentes - RECOPE. Consultado el 31 de octubre de 2022, desde <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/tabla-precios/>
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2018). Poder calórico - RECOPE. Consultado el 26 de junio de 2022, desde <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/poder-calorico/>
- Solano, M., Castillo, S., y Maldonado, T. (2019). Consumo de agua en el proceso de poscosecha en la producción de banano de exportación. *Revista Científica Agroecosistemas.*, 7.
- Solís, M. (2011). *Diseño de un Programa para el Mantenimiento Preventivo de Infraestructura en Plantas Procesadoras de Piña (PINDECO S . A .)* (Tesis doctoral). Tecnológico de Costa Rica.
- Ulloa, L. (2017). *Efecto de la variación en las temperaturas de acondicionamiento en la etapa poscosecha, sobre el desarrollo de color amarillo en frutos de piña (Ananas comosus L. Merr.) cv. Dorada Extra Dulce*. (Tesis doctoral). Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Valverde, O. (2014). *Auditoría Energética del Edificio C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica* (Tesis doctoral). Universidad de Costa Rica.

Apéndice

4.5. Apéndice 1

Tabla 31. Resumen de la evaluación preliminar de mediciones que se realizó en cada proceso.

Proceso	Insumos*	Metodología de medición**
Recibo	Combustible	Por medio del volumen del tanque de combustible (L) de los montacargas y el tiempo de operación (h) se obtuvo el consumo por tonelada (L/t).
Lavado y desinfección	Agua	Se midió un volumen conocido (L) por tiempo de llenado (min) para obtener el caudal (L/h) y luego se midió el tiempo de operación (min) para obtener el volumen por tonelada (L/t) .
	Energía	Se tomaron datos de amperaje (I) y tensión (V) de motores y bombas y tiempo de operación (h) para obtener el consumo por tonelada (kWh/t).
	Cloro	Valores de masa (kg) se tomarán de los registros de la empresa y se calculó cuanto se utiliza por tonelada (kg/t).
Selección 1	Energía	Por medio del amperaje (I) y tensión (V) de los motores de las bandas transportadoras y tiempo de operación (h) se obtuvo el consumo por tonelada (kWh/t).
Encerado	Energía	Por medio del amperaje (I) y tensión (V) del motor y la bomba de recirculación y tiempo de operación (h) se obtuvo el consumo por tonelada (kWh/t).
	Cera	Se tomó el valor de masa (kg) de los registros de la empresa y se calculó la cantidad que se utiliza por tonelada (kg/t).
Fungicida	Energía	Por medio del amperaje (I) y tensión (V) de los motores de dosificación y tiempo de operación (h) se obtuvo el consumo por tonelada (kWh/t).
	Fungicida	Se obtuvo el valor (ml) de los registros de la empresa y se calculó la cantidad que se utiliza por tonelada (kg/t).
Selección 2	Energía	Se midió el amperaje (I) y la tensión (V) de los motores de la calibradora y se midió el tiempo de operación (h) para obtener el consumo por tonelada (kWh/t).
Empaque	Energía	Se midió el amperaje (I) y la tensión (V) de las bandas transportadoras y las pistolas plastiflechas y el tiempo de operación (h) para obtener el consumo por tonelada (kWh/t).
Armado de cajas	Energía, cantidad de cajas	Se midió el consumo estimado por cantidad de cajas (kWh/cajas) a partir de la energía de los compresores en paralelo que alimentan varias áreas de la planta.

*En cada uno de los procesos se consideró la cantidad de personal a cargo.

**Todas las mediciones se realizaron según la Tabla 1

***Todas los consumos se calcularon por tonelada de piñas de entrada fresca y de salida empacadas.

4.6. Apéndice 2

Registro de carga de montacargas eléctricos				Fecha:
---	--	--	--	--------

Montacarga	Porcentaje de carga inicial	Hora de conexión	Hora de desconexión	Porcentaje de carga final
<input type="checkbox"/> Crown <input type="checkbox"/> CAT		:	:	
<input type="checkbox"/> Crown <input type="checkbox"/> CAT		:	:	
<input type="checkbox"/> Crown <input type="checkbox"/> CAT		:	:	
<input type="checkbox"/> Crown <input type="checkbox"/> CAT		:	:	
<input type="checkbox"/> Crown <input type="checkbox"/> CAT		:	:	

Figura 51. Guía utilizada para el registro de horas de carga de los montacargas eléctricos.

Fecha	# equipo	Horímetro	Combustible
Martes 25 de enero			
Miércoles 26 de enero			
Jueves 27 de enero			
Viernes 28 de enero			

Figura 52. Guía utilizada para el registro de consumo de combustible de los montacargas de combustión interna.

Conteo control de llenado de pila de lavado de piña Fecha:

	Tiempo (minutos)	Caudal
1		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
2		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
3		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
4		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
5		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
6		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
7		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
8		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %
9		<input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 %

Figura 53. Guía utilizada para el registro de consumo de agua de control en el llenado de la pila de lavado de fruta.

4.7. Apéndice 3

UPALA AGRICOLA S.A ALAJUELA, UPALA, QUERRADA GRANDE, DEPARTAMENTO PLANTA DE EMPAQUE REGISTRO DE PREPARACION DE MEZCLAS PARA FRUTA CONVENCIONAL										IFE-009-RIG-003	
FECHA	HORA	CERA (BRIG)	Lote Empacar	Nombre comercial del Producto	Ingrediente Activo	Lote de Producto	Medida Producto	Agua (L)	Indicador/Inicial	Responsable	
18-11-2021	7:30 AM	5.5	325	Cera Sta-Fresh 2952. Aplicación en fruta	Vegetal 40% y agua 60%	2766050462	10.5 Kgs	160 Lts	Cera Inicial	Manuel Sulus	
				Ácido Cítrico	Ácido Cítrico	MHAICDI-SC3	136 ML	11			
				SHOLAR R235C	Fludioxonil	MHAICDI-SC3	160 ML	11			
				SHOLAR R235C	Fludioxonil	455A777674	3 Kgs	REFZ			
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
18-11-2021	7:30	5.4	325	Cera Sta-Fresh 2952. Aplicación en fruta	Vegetal 40% y agua 60%	2766050462	10.5 Kgs	160 Lts	Cera Nueva	Manuel Sulus	
				Ácido Cítrico	Ácido Cítrico	MHAICDI-SC3	136 ML	11			
				SHOLAR R235C	Fludioxonil	MHAICDI-SC3	160 ML	11			
				SHOLAR R235C	Fludioxonil	455A777674	2 Kgs	REFZ			
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
				Cera Sta-Fresh 2952. Aplicación en fruta	Vegetal 40% y agua 60%						
				Ácido Cítrico	Ácido Cítrico						
				SHOLAR R235C	Fludioxonil						
				SHOLAR R235C	Fludioxonil						
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
				Cera Sta-Fresh 2952. Aplicación en fruta	Vegetal 40% y agua 60%						
				Ácido Cítrico	Ácido Cítrico						
				SHOLAR R235C	Fludioxonil						
				SHOLAR R235C	Fludioxonil						
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						
				Cloro Granulado 60% (Inicio/Refuerzo)	Diclorodisocianurato						

Justificación de la Aplicación
Sholar: Control de moho, otros hongos e insectos.

Método de Cascada: Aplicación a toda la fruta
Método de aspersión: Aplicación a toda la fruta
Encargado de Aplicación: Manuel Sulus

Figura 54. Registro de la empresa para el control de consumos de insumos en el área de poscosecha.

4.8. *Apéndice 4*



Figura 55. Piña de rechazo con defecto de múltiple corona.

4.9. *Apéndice 5*



Figura 56. Banda de descarte ubicada por densidad ubicada en la pila de lavado de fruta.

4.10. Apéndice 6



Figura 57. Panel de control de motores.

MOTOR	CONTACTOR	OBSERVACIONES	PIZA
VARIAVOR 401	K1	VARIAVOR 401	SELECCIÓN
VARIAVOR 402	K2	VARIAVOR 402	SELECCIÓN
VARIAVOR 403	K3	VARIAVOR 403	SELECCIÓN
VARIAVOR 404	K4	VARIAVOR 404	SELECCIÓN
VARIAVOR 405	K5	VARIAVOR 405	SELECCIÓN
VARIAVOR 406	K6	VARIAVOR 406	SELECCIÓN
VARIAVOR 407	K7	VARIAVOR 407	SELECCIÓN
VARIAVOR 408	K8	VARIAVOR 408	SELECCIÓN
VARIAVOR 409	K9	VARIAVOR 409	SELECCIÓN
VARIAVOR 410	K10	VARIAVOR 410	SELECCIÓN
VARIAVOR 411	K11	VARIAVOR 411	SELECCIÓN
VARIAVOR 412	K12	VARIAVOR 412	SELECCIÓN
VARIAVOR 413	K13	VARIAVOR 413	SELECCIÓN
VARIAVOR 414	K14	VARIAVOR 414	SELECCIÓN
VARIAVOR 415	K15	VARIAVOR 415	SELECCIÓN
VARIAVOR 416	K16	VARIAVOR 416	SELECCIÓN
VARIAVOR 417	K17	VARIAVOR 417	SELECCIÓN
VARIAVOR 418	K18	VARIAVOR 418	SELECCIÓN
VARIAVOR 419	K19	VARIAVOR 419	SELECCIÓN
VARIAVOR 420	K20	VARIAVOR 420	SELECCIÓN
VARIAVOR 421	K21	VARIAVOR 421	SELECCIÓN
VARIAVOR 422	K22	VARIAVOR 422	SELECCIÓN
VARIAVOR 423	K23	VARIAVOR 423	SELECCIÓN
VARIAVOR 424	K24	VARIAVOR 424	SELECCIÓN
VARIAVOR 425	K25	VARIAVOR 425	SELECCIÓN
VARIAVOR 426	K26	VARIAVOR 426	SELECCIÓN
VARIAVOR 427	K27	VARIAVOR 427	SELECCIÓN
VARIAVOR 428	K28	VARIAVOR 428	SELECCIÓN
VARIAVOR 429	K29	VARIAVOR 429	SELECCIÓN
VARIAVOR 430	K30	VARIAVOR 430	SELECCIÓN
VARIAVOR 431	K31	VARIAVOR 431	SELECCIÓN
VARIAVOR 432	K32	VARIAVOR 432	SELECCIÓN
VARIAVOR 433	K33	VARIAVOR 433	SELECCIÓN
VARIAVOR 434	K34	VARIAVOR 434	SELECCIÓN
VARIAVOR 435	K35	VARIAVOR 435	SELECCIÓN
VARIAVOR 436	K36	VARIAVOR 436	SELECCIÓN
VARIAVOR 437	K37	VARIAVOR 437	SELECCIÓN
VARIAVOR 438	K38	VARIAVOR 438	SELECCIÓN
VARIAVOR 439	K39	VARIAVOR 439	SELECCIÓN
VARIAVOR 440	K40	VARIAVOR 440	SELECCIÓN
VARIAVOR 441	K41	VARIAVOR 441	SELECCIÓN
VARIAVOR 442	K42	VARIAVOR 442	SELECCIÓN
VARIAVOR 443	K43	VARIAVOR 443	SELECCIÓN
VARIAVOR 444	K44	VARIAVOR 444	SELECCIÓN
VARIAVOR 445	K45	VARIAVOR 445	SELECCIÓN
VARIAVOR 446	K46	VARIAVOR 446	SELECCIÓN
VARIAVOR 447	K47	VARIAVOR 447	SELECCIÓN
VARIAVOR 448	K48	VARIAVOR 448	SELECCIÓN
VARIAVOR 449	K49	VARIAVOR 449	SELECCIÓN
VARIAVOR 450	K50	VARIAVOR 450	SELECCIÓN
VARIAVOR 451	K51	VARIAVOR 451	SELECCIÓN
VARIAVOR 452	K52	VARIAVOR 452	SELECCIÓN
VARIAVOR 453	K53	VARIAVOR 453	SELECCIÓN
VARIAVOR 454	K54	VARIAVOR 454	SELECCIÓN
VARIAVOR 455	K55	VARIAVOR 455	SELECCIÓN
VARIAVOR 456	K56	VARIAVOR 456	SELECCIÓN
VARIAVOR 457	K57	VARIAVOR 457	SELECCIÓN
VARIAVOR 458	K58	VARIAVOR 458	SELECCIÓN
VARIAVOR 459	K59	VARIAVOR 459	SELECCIÓN
VARIAVOR 460	K60	VARIAVOR 460	SELECCIÓN
VARIAVOR 461	K61	VARIAVOR 461	SELECCIÓN
VARIAVOR 462	K62	VARIAVOR 462	SELECCIÓN
VARIAVOR 463	K63	VARIAVOR 463	SELECCIÓN
VARIAVOR 464	K64	VARIAVOR 464	SELECCIÓN
VARIAVOR 465	K65	VARIAVOR 465	SELECCIÓN
VARIAVOR 466	K66	VARIAVOR 466	SELECCIÓN
VARIAVOR 467	K67	VARIAVOR 467	SELECCIÓN
VARIAVOR 468	K68	VARIAVOR 468	SELECCIÓN
VARIAVOR 469	K69	VARIAVOR 469	SELECCIÓN
VARIAVOR 470	K70	VARIAVOR 470	SELECCIÓN
VARIAVOR 471	K71	VARIAVOR 471	SELECCIÓN
VARIAVOR 472	K72	VARIAVOR 472	SELECCIÓN
VARIAVOR 473	K73	VARIAVOR 473	SELECCIÓN
VARIAVOR 474	K74	VARIAVOR 474	SELECCIÓN
VARIAVOR 475	K75	VARIAVOR 475	SELECCIÓN
VARIAVOR 476	K76	VARIAVOR 476	SELECCIÓN
VARIAVOR 477	K77	VARIAVOR 477	SELECCIÓN
VARIAVOR 478	K78	VARIAVOR 478	SELECCIÓN
VARIAVOR 479	K79	VARIAVOR 479	SELECCIÓN
VARIAVOR 480	K80	VARIAVOR 480	SELECCIÓN
VARIAVOR 481	K81	VARIAVOR 481	SELECCIÓN
VARIAVOR 482	K82	VARIAVOR 482	SELECCIÓN
VARIAVOR 483	K83	VARIAVOR 483	SELECCIÓN
VARIAVOR 484	K84	VARIAVOR 484	SELECCIÓN
VARIAVOR 485	K85	VARIAVOR 485	SELECCIÓN
VARIAVOR 486	K86	VARIAVOR 486	SELECCIÓN
VARIAVOR 487	K87	VARIAVOR 487	SELECCIÓN
VARIAVOR 488	K88	VARIAVOR 488	SELECCIÓN
VARIAVOR 489	K89	VARIAVOR 489	SELECCIÓN
VARIAVOR 490	K90	VARIAVOR 490	SELECCIÓN
VARIAVOR 491	K91	VARIAVOR 491	SELECCIÓN
VARIAVOR 492	K92	VARIAVOR 492	SELECCIÓN
VARIAVOR 493	K93	VARIAVOR 493	SELECCIÓN
VARIAVOR 494	K94	VARIAVOR 494	SELECCIÓN
VARIAVOR 495	K95	VARIAVOR 495	SELECCIÓN
VARIAVOR 496	K96	VARIAVOR 496	SELECCIÓN
VARIAVOR 497	K97	VARIAVOR 497	SELECCIÓN
VARIAVOR 498	K98	VARIAVOR 498	SELECCIÓN
VARIAVOR 499	K99	VARIAVOR 499	SELECCIÓN
VARIAVOR 500	K100	VARIAVOR 500	SELECCIÓN

Figura 58. Nomenclatura actual disponible desactualizada.

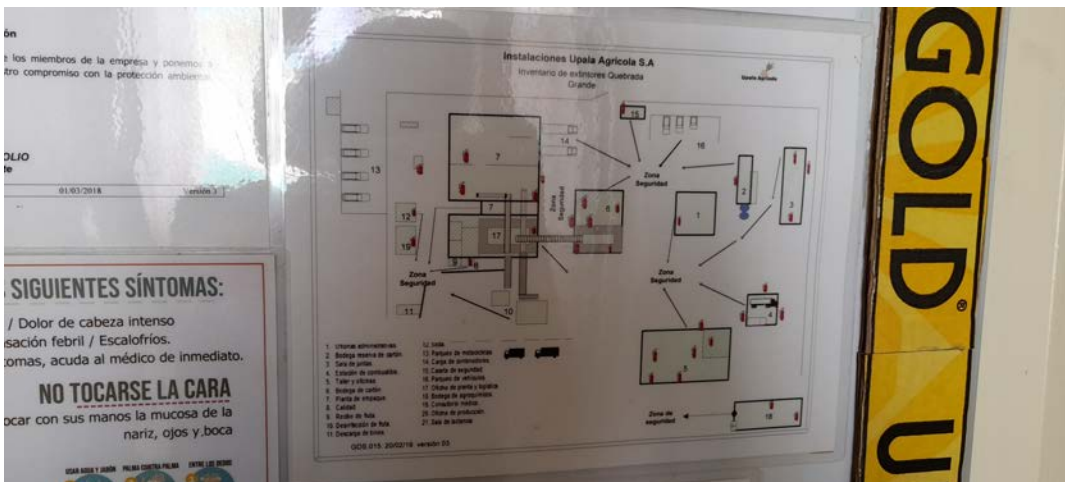


Figura 59. Ejemplo de croquis para realizar con ubicaciones de equipos.

4.11. Apéndice 7

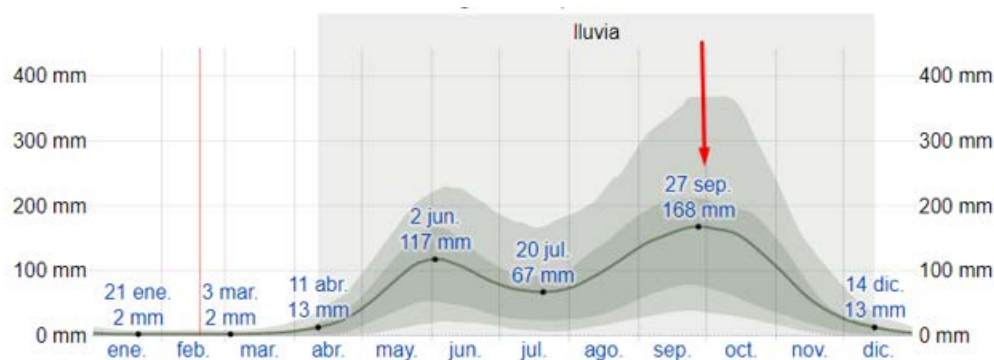


Figura 60. Variación mensual de cantidad de lluvia Upala (Cedar Lake Ventures, 2022)

Rubros de la Factura		
100	MONTO ENERGÍA	¢3,848,336.35 (+)
101	MONTO DEMANDA	¢10,221,103.32 (+)
016	MONTO ALUMBRADO	¢190,000.00 (+)
002	CARGO POR	¢430,960.70 (+)
005	IMPUESTO VALOR	¢1,829,027.16 (+)
021	REDONDEO	¢1.28 (+)
035	IMP BOMBEROS	¢751.30 (+)
065	IMPUESTO VALOR	¢56,024.89 (+)
Total		¢16,576,205.00

Figura 61. Desglose de rubros de factura cobrada por el ICE

Tabla 32. Detalles de los criterios significativos

Criterio	Observación	Evaluación
Consumo kWh		50% <x
Posibilidad de mejora	Tecnologías, implantación coste/beneficio	No hay o son muy caras. Se pueden realizar acciones con retornos entre 2 y 5 años. Se pueden realizar mejoras con retornos <2 años y/o alta replicabilidad.
Dificultad	Dificultad de implantación dentro de la organización	Difícil Media Fácil

4.12. Apéndice 8

Tabla 33. Rangos de hora respectivos a los períodos de consumo eléctrico

Período	Rango de Horas
Punta (5 h)	10:01 - 12:30 y 17:31 - 20:00
Valle (9 h)	06:01 - 10:00 y 12:31 - 17:30
Nocturno (10 h)	20:01 - 06:00

Consumo de Energía, kWh					
No. Horaria	Lect. Anterior	Lect. Actual	Consumo del Mes	Costo por kWh	Importe facturado
Horaria					
Periodo	Punta		38,547	¢49.92	¢1,924,266.24
	Valle		71,432	¢18.54	¢1,324,349.28
	Nocturno		57,313	¢11.41	¢653,941.33
Sub-total					¢3,902,556.85
Alumbrado			167,292	¢186,000.00	¢186,000.00

Consumo de Potencia, kW					
No. Horaria	Lect. Anterior	Lect. Actual	Consumo del Mes	Costo por kW	Importe facturado
Horaria					
	Fecha	Hora			
Punta	09/11/2021	1745	489	¢8,099.61	¢3,961,600.25
Valle	09/11/2021	1645	562	¢5,655.26	¢3,180,009.25
Nocturno	17/11/2021	2200	540	¢3,622.32	¢1,957,501.73
Sub-total					¢9,099,111.23

Figura 62. Desglose de costos de consumo y potencia en factura del ICE

Tabla 34. Cantidad de agua que arrastra una piña al ser sumergida

Calibre	Muestra	Masa seca (g)	Masa húmeda + recipiente (g)	Masa húmeda (g)	Masa de agua (g)
5	1	2234,23	2564,35	2282,19	47,96
5	2	2537,66	2876,26	2594,1	56,44
5	3	2775,71	3098,13	2815,97	40,26
5	4	2544,78	2872,6	2590,44	45,66
5	5	2275,26	2608,62	2326,46	51,2
6	1	1922,38	2232,07	1949,91	27,53
6	2	2015,98	2347,7	2065,54	49,56
6	3	1958,98	2283,86	2001,7	42,72
6	4	1945,7	2282,32	2000,16	54,46
6	5	1879,03	2210,55	1928,39	49,36
6	6	2180,47	2514,09	2231,93	51,46
7	1	1647,95	1978,23	1696,07	48,12
7	2	1595,59	1925,05	1642,89	47,3
7	3	1805,71	2140,66	1858,5	52,79
7	4	1758,51	2084,14	1801,98	43,47
7	5	1625,96	1944,22	1662,06	36,1
7	6	1747,03	2070,88	1788,72	41,69
7	7	1690,81	2019,74	1737,58	46,77
8	1	1514,04	1838,58	1556,42	42,38
8	2	1461,14	1790,18	1508,02	46,88
8	3	1462,3	1782,94	1500,78	38,48
8	4	1507,86	1843,85	1561,69	53,83
8	5	1408,49	1734,02	1451,86	43,37
8	6	1573,82	1899,39	1617,23	43,41
8	7	1441,39	1764,81	1482,65	41,26
8	8	1577,09	1910,03	1627,87	50,78
9	1	1242,25	1553,54	1271,38	29,13
9	2	1270,2	1581,91	1299,75	29,55
9	3	1267,47	1587,51	1305,35	37,88
9	4	1234,59	1556,02	1273,86	39,27
9	5	1273,04	1597,86	1315,7	42,66
9	6	1244,9	1561,08	1278,92	34,02
9	7	1237,16	1552,68	1270,52	33,36
9	8	1236,34	1548,78	1266,62	30,28
9	9	1220,79	1538,45	1256,29	35,5
10	1	1148,81	1475,19	1193,03	44,22
10	2	1089,18	1409,14	1126,98	37,8
10	3	1088,05	1397,34	1115,18	27,13
10	4	1070,79	1382,4	1100,24	29,45
10	5	1123,69	1450,57	1168,41	44,72
10	6	1078,64	1404,43	1122,27	43,63
10	7	1094,07	1413,66	1131,5	37,43
10	8	1137,66	1455,35	1173,19	35,53
10	9	1166,46	1491,01	1208,85	42,39
10	10	1128,4	1445,42	1163,26	34,86
				Promedio	41,82